

ÉLCIA FERREIRA DA SILVA

CORRELAÇÃO DIGITAL REALIZADA NO DOMÍNIO ESPECTRAL

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr. Quintino Dalmolin

Co-Orientador: MSc. Maurício Galo

CURITIBA

1994

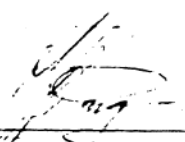
CORRELAÇÃO DIGITAL REALIZADA NO DOMÍNIO ESPECTRAL

por

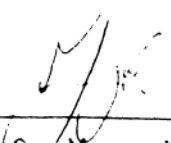
Élcia Ferreira da Silva
Engenheira Cartógrafa

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Quintino Dalmolin
Presidente e Orientador



Prof. PhD. João Bosco Lugnani
Primeiro Examinador



Prof. Msc. Maurício Galo
Segundo Examinador e Co-orientador

Curitiba, 16 de Março de 1994.

Dedico este Trabalho a:

Meus familiares, mas em especial ao
SEU CÍCERO E A DONA MARGARIDA e a

Alguém que mesmo distante se fez
presente, Gal.

AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar meus agradecimentos às pessoas e entidades abaixo relacionadas.

Aos professores Dr. Quintino Dalmolin e MSc. Maurício Galo, pela orientação, incentivo e momentos de discussão.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica da Universidade Federal do Paraná, em especial ao professor Hideo Araki.

Aos professores do Curso de Engenharia Cartográfica da Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP de Presidente Prudente, em especial aos professores Antonio Maria Garcia Tommaselli, Júlio Kyoshi Hasegawa e Nilton Noburriro Imai.

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante a realização do curso.

Àquele em cuja ausência nada existiria.

SUMÁRIO

<u>FOLHA DE ROSTO</u>	i
<u>TERMO DE APROVAÇÃO</u>	ii
<u>DEDICATÓRIA</u>	iii
<u>AGRADECIMENTOS</u>	iv
<u>SUMÁRIO</u>	v
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	viii
<u>LISTA DE TABELAS</u>	x
<u>RESUMO</u>	xi
<u>ABSTRACT</u>	xii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1	Considerações Iniciais.....	01
1.2	Objetivos do Trabalho.....	05
1.3	Estrutura do Trabalho.....	06

CAPÍTULO 2 - DOMÍNIOS DE ATUAÇÃO DA CORRELAÇÃO DIGITAL

2.1	Introdução.....	07
2.2	Correlação Digital e o Domínio Espacial.....	09
2.3	Domínio Espectral.....	24

CAPÍTULO 3 - PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA CORRELAÇÃO ESPECTRAL

3.1	Introdução.....	26
3.2	Transformada de Fourier.....	27

3.2.1	Considerações Iniciais.....	27
3.2.2	Desenvolvimento Matemático das Transformadas de Fourier.....	28
3.2.2.1	Obtenção da Transformada Discreta.....	33
3.2.3	Propriedades das Transformadas de Fourier.....	44
3.2.4	Transformada Rápidas de Fourier.....	48
3.3	Correlação e Convolução.....	58

Capítulo 4 - METODOLOGIA DA CORRELAÇÃO ESPECTRAL

4.1	Introdução.....	60
4.2	Metodologia da Correlação Espectral.....	61
4.2.1	Etapas da Correlação Espectral.....	63

Capítulo 5 - EXPERIMENTOS E RESULTADOS

5.1	Introdução.....	69
5.2	Materiais.....	70
5.3	Descrição dos Experimentos.....	71
5.3.1	Programas Desenvolvidos.....	74
5.3.2	Coleta de Dados e Processamento.....	79

Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1	Considerações Finais.....	90
6.1	Conclusões.....	91

6.2 Recomendações..... 92

ANEXOS..... 93

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 114

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura

2.1 - Configuração de Uma Imagem Digital.....	09
2.2 - a) Representação das Funções de Tom de Cinza da Janela de Referência b) Representação das Funções de Tom de Cinza da Janela de Pesquisa.....	11
2.3 - Dimensões da janela de Busca e Referência.....	13
2.4 - Geometria Epipolar.....	17
2.5 - Linhas Epipolares Conjugadas.....	18
2.6 - Representação de Uma Varredura Feita ao Longo de Uma Linha Epipolar.....	19
2.7 - Padrão de Varredura.....	20

Capítulo 3

3.1 - Perda da Informação Decorrente da Discretização da Função.....	34
3.2 - Efeito da Truncagem da Função Discretizada.....	37
3.3 - Discretização de Uma Função Contínua.....	38
3.4 - Área de Aplicação da Transformada de Fourier na Imagem Digital.....	41
3.5 - Periodicidade e Simetria Conjugada da Função. Adaptada de Gonzales 1987.....	47
3.6 - Cálculo da Transformada Bi-dimensional Pela Aplicação Sucessiva da Transformada Uni-dimensional.....	51

3.7 - Representação de Uma Janela.....	52
--	----

Capítulo 4

4.1 - Esquema da Correlação.....	52
4.2 - Esquema da Autocorrelação.....	66
4.3 - Posição do C.P. em Relação aos Alvos.....	67

Capítulo 5

5.1 - Fluxograma do Programa CORFAS.....	76
5.2 - Fluxograma do Programa ESP.....	77
5.3 - Fluxograma do Programa CORBLAIS.....	78
5.4 - Descrição dos Alvos na Imagem Cal2.TGA.....	80
5.5 - Sistemas de Coordenadas.....	81
5.6 - Disposição das Janelas Escolhidas.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela

3.1 - Quadro comparativo entre a transformada de Fourier e a transformada rápida de Fourier. Adaptado de Gonzalez 1987.....	50
5.1 - Conteúdo das Janelas.....	82
5.2 - Resultados do Teste 01.....	83
5.3 - Resultados do Teste 02.....	84
5.4 - Resultados do Teste 03.....	86
5.5 - Resultados Considerando a Metodologia Descrita Por Blais.....	88

RESUMO

A Fotogrametria Digital, como o próprio nome sugere, trabalha sobre produto e ambiente digital. O grande desenvolvimento tecnológico que caracteriza tal área de conhecimento, torna possível a automação de algumas tarefas antes executadas apenas pelo homem. A substituição da acuidade visual do olho humano em identificar áreas e/ou "pontos" homólogos, é uma das maiores dificuldades no processo de automação. A correlação digital surge como uma técnica de alto potencial na solução deste problema. Tal técnica, pode ser conduzida em dois domínios; o espacial e o espectral. A correlação de imagens no domínio espectral não é muito utilizada e principalmente no Brasil, não se tem muitas referências de sua utilização na fotogrametria. Assim sendo, aborda-se neste trabalho: a formulação matemática que rege tal domínio, a metodologia de execução, algumas considerações a respeito de suas características, bem como o algoritmo que a executa.

ABSTRACT

The Digital Photogrammetry works about the product and the digital environment. The technological development made the automation of some tasks possible; beforehand only men could do them. The main problem in the process of automation is the difficulty of replacing men's accurate sight identifying homologous entities. The digital image correlation comes as a highly technical potential for solving this problem. This technic has two domains, the spatial and spectral. The digital image correlation isn't very used and principally in Brazil, don't have many reference about its use in photogrammetry. This work deals with the mathematical formulation which governs this domain, the methodology of execution and some thoughts about its characteristics and algorithm that does the job.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A constante evolução tecnológica, tornou possível a realização de um sonho acalentado por muitos segmentos da comunidade científica mundial; a automação de algumas tarefas antes executadas apenas pelo homem.

O uso de imagens digitais, torna-se cada vez mais comum e estas vem sendo usadas por vários campos das ciências. Inicialmente a tecnologia do Sensoriamento Remoto era a única forma de se adquirir uma imagem neste formato, usando-se para tal, sensores instalados em plataformas orbitais os quais eram responsáveis pela aquisição da informação. Atualmente equipamentos como *Scanners e Câmeras Digitais*, também são capazes de fornecer imagens neste formato.

De acordo com GALO [10], as câmeras digitais podem ser usadas em diversas áreas e entre elas podemos citar a robótica e a fotogrametria digital. FAUST [08], indica inúmeras aplicações para uma imagem obtida com este tipo de câmera; a correlação digital de pontos para a produção de modelos

digitais de elevação (DTMD), a integração de fotografias digitalizadas com estrutura raster em banco de dados e a classificação digital de feições naturais são apenas algumas destas aplicações.

A evolução da Fotogrametria como um todo, para a Fotogrametria Digital torna possível a automação de algumas tarefas efetuadas pelos operadores. Uma das dificuldades na automação fotogramétrica é a substituição da identificação visual de áreas e/ou "pontos" homólogos contidos num estereopar.

O desenvolvimento de pesquisas nesta área vem mostrando a correlação digital de imagens aplicada a fotogrametria, como uma técnica de grande potencial na solução deste problema. Além da correlação digital, há também a correlação eletrônica e a correlação ótica.

De acordo com STRAUCH [20], a correlação eletrônica é desenvolvida por um sistema composto basicamente de dois outros sistemas que desenvolvem as operações básicas de varredura e correlação. O sistema de varredura converte a informação analógica de um estereopar em sinais elétricos. O sistema correlator compara estes dois sinais com a finalidade de determinar o grau de similaridade entre os dois e medir a posição relativa dos pontos homólogos sobre o estereopar. A correlação ótica é análoga a correlação eletrônica, requerendo operações de varredura e correlação, entretanto neste método

ambas operações são realizadas simultaneamente.

De acordo com BLAIS [02], a correlação digital pode ser conduzida sobre dois domínios; o espacial e o espectral.

Os sinais resultantes da aquisição de uma imagem digital, podem ser assumidos como funções discretas definidas em um certo intervalo. No caso de um estereopar, que foi digitalizado segundo a direção das linhas epipolares conjugadas, tem-se duas funções, $G_1(x)$ e $G_2(x+\alpha)$ representando cada uma das sequências a serem correlacionadas.

Desta maneira, as imagens estão definidas no domínio espacial e a metodologia utilizada para se efetuar a correlação neste domínio se divide em duas etapas, a primeira delas se baseia nas chamadas *Funções de Correlação* as quais, neste contexto, indicam a posição onde os sinais, que representam as imagens, possuem um comportamento semelhante. A segunda etapa utiliza a técnica da *Correlação por Mínimos Quadrados* a qual refina o processo anterior, trazendo a precisão dos resultados finais para o nível do sub-pixel [08].

O processo de correlação por mínimos quadrados, se baseia no refinamento da posição de melhor correlação através da introdução de parâmetros geométricos e radiométricos, os quais são determinados pela técnica de mínimos quadrados.

Se uma das funções analisadas, for uma cópia da outra

ou apresentar apenas um deslocamento segundo uma ou duas variáveis independente, então a correlação dos dois sinais é denominada como *autocorrelação*. Se as duas funções apresentarem diferenças geométricas e radiométricas, então a correlação das duas é conhecida como *correlação cruzada* (cross-correlation).

A *estereocorrelação* é utilizada quando se deseja a reconstrução espacial das imagens envolvidas no processo. Com esta finalidade, as imagens devem satisfazer a determinadas condições geométricas para que a informação espacial possa ser extraída da correlação [02].

Na autocorrelação, a reconstrução espacial não é o objetivo do processo. Ela é usada apenas para a identificação de áreas e/ou "pontos" homólogos.

De acordo com KRATKY [14], toda a função definida no domínio espacial, possui uma representação analítica no domínio da frequência. Baseado nisto, as funções que representam as imagens podem ser analisadas, manipuladas e estudadas sob outro ponto de vista, o espectral.

A execução da correlação digital no domínio da frequência é conhecida como *correlação espectral*. A teoria matemática que rege este domínio se baseia nas *Transformadas de Fourier*.

De acordo com BLAIS [02], a execução da correlação

neste domínio pode conduzir a resultados mais eficientes do que no domínio espacial, principalmente no que diz respeito a velocidade de processamento.

Uma explicação para tal fato, repousa na utilização das *Transformadas Rápidas de Fourier* para executar a correlação propriamente dita.

Este aspecto pode tornar este domínio mais atrativo que o domínio espacial pois espera-se uma maior rapidez do processo.

1.2 Objetivos do Trabalho

A correlação digital de imagens realizada no domínio espectral, não é muito utilizada e principalmente no Brasil não se tem muitas referências de sua utilização em fotogrametria.

Baseado nisto, os objetivos deste trabalho referem-se basicamente a:

- realização de uma revisão bibliográfica que apresente a correlação digital no domínio espacial, realizada de maneira bi e uni-dimensional, sem entrar na formulação matemática visto ter sido objeto de estudos de STRAUCH [20];

- expor as *Transformadas de Fourier*, tendo como finalidade o entendimento de seu funcionamento, algumas de

suas propriedades e como podem ser usadas no processo da correlação;

→ apresentação da metodologia de execução da correlação espectral, procurando estabelecer as etapas e a formulação matemática pertinente a cada uma delas assim como alguns aspectos da técnica; e finalmente

→ com base em tal metodologia desenvolver, implementar e testar um algoritmo que a execute.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado de tal forma que no capítulo 2 são apresentados, de modo geral, o processo de correlação digital e seus domínios de atuação sem contudo entrar na formulação matemática que rege tais domínios. No capítulo seguinte apresenta-se a teoria matemática sobre a qual se fundamenta a correlação espectral e a formulação necessária para sua execução. A metodologia para efetuar-la assim como considerações a respeito da técnica e do ajustamento da mesma são apresentadas no capítulo 4. Os experimentos realizados, bem como os resultados obtidos podem ser encontrados no capítulo 5. Finalmente no capítulo 6 são feitas algumas considerações, conclusões e recomendações baseadas nos estudos e testes realizados.

CAPÍTULO 2

CORRELAÇÃO DIGITAL E SEUS DOMÍNIOS DE ATUAÇÃO

Este capítulo descreve, de um modo geral, o processo de correlação digital e seus domínios de atuação, sem contudo entrar na formulação matemática que rege tais domínios.

2.1. Introdução

Passo a passo, a fotogrametria analógica evoluiu para a fotogrametria analítica e nos últimos anos, esta vem evoluindo para a fotogrametria digital.

Tarefas antes executadas sobre produtos analógicos passam a ser efetuadas sobre produtos e ambiente completamente digitais. Isto obriga a reestruturação de algumas etapas e/ou tarefas fotogramétricas antes executadas apenas pelo homem. Como exemplo cita-se a detecção e identificação de "pontos" homólogos.

A identificação de áreas e/ou "pontos" homólogos é chamada de correlação de imagens. Quando se observa, com instrumentos apropriados um par estereoscópico, executa-se o

processo de correlação. A substituição da acuidade visual do olho humano em realizar esta tarefa , é sem dúvida o problema central do processo de automação.

Neste sentido, pesquisas estão sendo desenvolvidas e a correlação digital surge como uma técnica que permite solucionar este problema e atender satisfatoriamente, a grande maioria das aplicações no processo de automação. Cabe ressaltar, que na maior parte dos casos a interferência humana se torna necessária.

Segundo EHLERS [07], a principal desvantagem do processo está na possibilidade de calcular erroneamente a paralaxe, isto em ambos domínios de atuação. O sinal que representa a imagem digital $G(x,y)$ é na verdade a soma de dois componentes; um sinal propriamente dito $\bar{G}(x,y)$ e um ruído $\eta(x,y)$. A razão entre o desvio-padrão do sinal e o desvio-padrão do ruído, ou seja

$$SNR = \frac{\sigma_{\bar{G}}}{\sigma_{\eta}} \quad (2.1)$$

pode ser um indicador da probabilidade de se ter uma correlação errônea, a qual é inversamente proporcional ao valor do SNR.

Este aspecto negativo do processo, é contornado através de técnicas de processamento de imagem, tais como o uso de um filtro passa-baixa e inúmeras outras técnicas.

2.2. Correlação Digital e o Domínio Espacial

A fotogrametria digital, logicamente, trabalha sobre um produto digital. A imagem digital pode ser considerada como uma matriz que está inserida dentro de um sistema de coordenadas, cujas linhas e colunas representam respectivamente, coordenadas y e x , assumindo o seguinte aspecto:

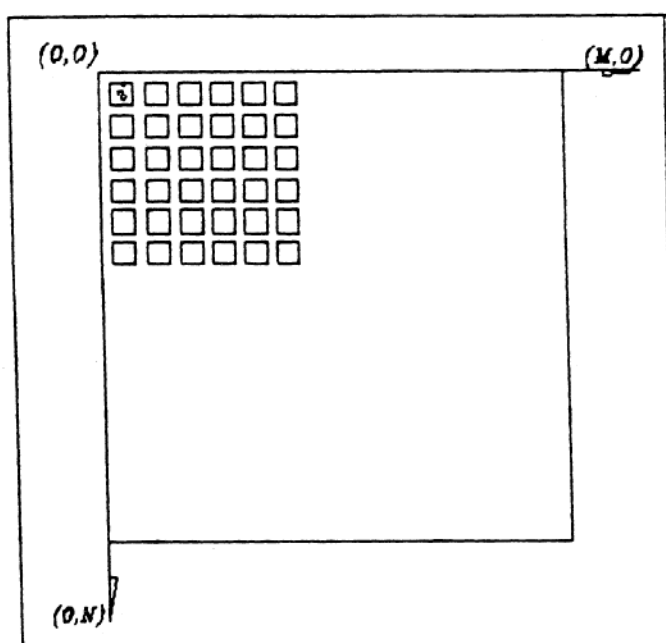


Figura 2.1 - CONFIGURACAO DE UMA IMAGEM DIGITAL

A cada posição i , determinada pela intersecção das linhas N e colunas M , existe um número inteiro associado. Tais números representam diferentes tons de cinza aos quais são atribuídos a estas posições por uma função denominada *função de tons de cinza*, designada genericamente por $G(x,y)$.

A configuração apresentada pela imagem digital permite defini-la como uma representação de dados bi-dimensionais

compostos de função de tons de cinza. Sua obtenção se dá através da digitalização de imagens analógicas. Tal digitalização pode ser efetuada das seguintes maneiras:

- fazendo uso de Scanners;
- microdensitômetro⁽¹⁾ e
- por intermédio de câmeras digitais (CCDs).

Um exemplo deste último pode ser encontrado em PERTL [17], que instalou embaixo do porta placas do restituidor analítico Planicomp C-100 da Zeiss duas câmeras digitais, as quais executam a digitalização do par.

Sabe-se que num par estereoscópico, a paralaxe apresenta-se segundo duas componentes, p_x e p_y . Analogicamente, quando se identifica pontos homólogos em um estereopar (correlação de imagens), ocorre a estimativa de tais componentes. Em ambiente digital, a identificação de pontos homólogos pode ser feita automaticamente através das funções de correlação.

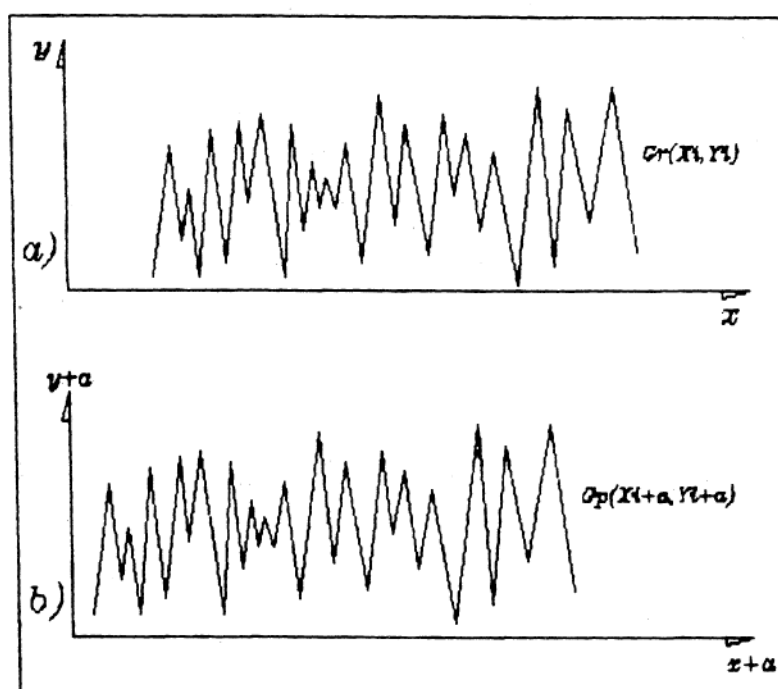
Assim, pode-se definir correlação digital, como um processo de detecção automática de "pontos" homólogos em um estereopar digital [29].

De acordo com YANNIRIS [29], as funções de correlação

(1) O microdensitômetro fornece imagem digital, quando em sua saída é instalado um conversor A/D.

podem ser usadas para comparar duas funções de mesma natureza, tendo como objetivo a detecção de um intervalo onde elas apresentam o comportamento mais semelhante.

O sinais resultante da varredura de um estereopar digital pode ser representado como funções do tipo $G(x,y)$ e $G(x+\alpha,y+\alpha)$ definidas em um certo intervalo, tal como ilustra a figura abaixo;



**Figura 2.2 - a) REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO DE TOM DE CINZA DA FOTO DA ESQUERDA.
b) REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO DE TOM DE CINZA DA FOTO DA DIREITA.**

Observando a figura anterior, é possível perceber que os sinais envolvidos não são rigorosamente iguais apesar de representarem imagens da mesma cena.

Uma análise superficial, revela que um sinal está atrasado em relação ao outro de uma quantidade α . Ou seja, há

um deslocamento α entre os pontos homólogos. No caso bi-dimensional é necessário um parâmetro para cada direção (x e y), o que não é necessário para o caso uni-dimensional.

De acordo com STRAUCH [20], as funções de correlação determinam intervalos nos quais as funções analisadas apresentam o comportamento mais semelhante. Para determinar esta correlação todos os intervalos dos sinais $G_r(x,y)$ e $G_p(x+\alpha,y+\alpha)$ são combinados e a eles é aplicado a função de correlação.

Segundo YANNIRIS [29], a quantidade α varia dentro de um intervalo, quando dentro deste intervalo encontra-se um valor que, dependendo da função de correlação utilizada, atribui ao coeficiente desta um valor máximo, mínimo ou unitário, esta quantidade passa a ser designada por α_0 e a posição deste valor é tida como sendo de melhor correlação.

O processo prático da correlação digital requer primeiramente, a definição de uma janela (janela de referência) que contenha a área de interesse, por exemplo, na imagem da esquerda (imagem referência). De modo análogo define-se na imagem da direita (imagem de pesquisa) a janela de pesquisa, ou de busca, a qual deve conter a área selecionada na janela de referência.

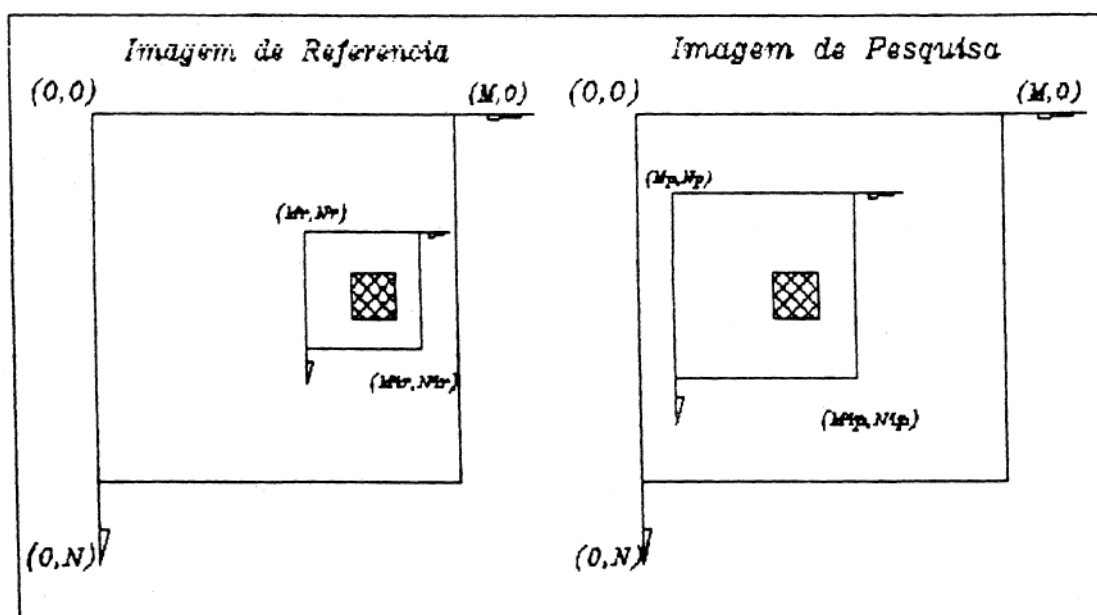


Figura 2.3 - DIMENSÕES DAS JANELAS DE BUSCA E REFERÊNCIA.

A maior dimensão da janela de pesquisa, como pode-se observar na figura acima, se deve ao fato de que sub-matrizes desta são combinadas com a matriz determinada pela janela de referência, sendo tais sub-matrizes de dimensões iguais as da janela de referência. Quando em uma destas sub-matrizes, o critério estabelecido pela função de correlação utilizada for atendido, tem-se uma semelhança no comportamento das funções de tons de cinza pertencentes a janela de referência e a sub-matriz da janela de pesquisa. A esta sub-matriz é dado o nome de *janela correlacionada* [20].

Uma vez estabelecidas as janelas de referência e de pesquisa, recorre-se às funções de correlação para identificação da janela homóloga. Pode-se utilizar para esta finalidade a Função de Covariância Cruzada, Função Quociente, Função Erro ou ainda a Função Erro Quadrático.

De acordo com YANNIRIS [29], cada uma destas funções possui um critério que deve ser atendido para que a mesma indique a posição de melhor correlação. A Função de Covariância Cruzada indicará a posição de melhor correlação, quando a quantidade α atribuir ao seu coeficiente um valor que o torna máximo. Já a Função Quociente indicará tal posição quando seu coeficiente possuir valor unitário ou o mais próximo possível deste valor. O critério estabelecido pelas Funções Erro e Erro Quadrático é igual e ambas fornecerão a posição de melhor correlação, quando os seus coeficientes se tornarem mínimos. Estas funções são apresentadas e pormenorizadas por [20], [21], [27] e [29].

O tamanho ideal para as janelas a serem correlacionadas, ainda é objeto de estudos. ROSENHOLM [18] mostra que janelas de tamanho inferior a 20×20 pixels apresentam uma baixa confiança. Janelas cuja dimensão se encontra entre 20×20 e 30×30 pixels, apresentam uma boa precisão em relação ao erro médio quadrático da medida de paralaxe realizada manualmente. Já as janelas de dimensões acima de 30×30 pixels apresentam resultados mais confiáveis. Para chegar a estes resultados, o autor usou como referência a probabilidade de ocorrência de erros grosseiros nos resultados da correlação entre os pontos.

As funções de correlação estimam apenas a quantidade α , a qual é na verdade um valor inteiro que varia dentro de um determinado intervalo de pesquisa designado por $[-SMX, +SMX]$. As expressões usadas para calcular os extremos deste intervalo

podem ser encontradas em YANNIRIS [29].

Com a aplicação de uma destas funções, executa-se a fase inicial do processo de correlação digital, sendo tal fase denominada por STRAUCH [20] de *correlação aproximada*.

De acordo com ACKERMANN [01], ao final da primeira etapa da correlação, as matrizes obtidas não são idênticas. Esta não identidade se deve a diferenças geométricas e radiométricas existentes entre as duas janelas que não são compensadas com o uso das funções de correlação. O mesmo autor, cita como causa destas diferenças os seguintes aspectos;

⇒ Geométricas:

- . diferenças na perspectiva de tomada das fotos e
- . deslocamento devido ao relevo.

⇒ Radiométricas:

- . diferenças de iluminação,
- . degradação produzida pela atmosfera (considerado apenas para fotografias aéreas) e
- . diferenças no processamento do filme, caso a imagem digital seja adquirida através da digitalização de produtos fotográficos.

Para uma melhor precisão do processo de correlação, tais problemas devem ser compensados. Assim ACKERMANN [01] sugere que parâmetros de transformação sejam introduzidos como incógnitas, para modelar as distorções e que estes sejam determinados por mínimos quadrados.

Esta técnica permite, através da escolha adequada do modelo, compensar as diferenças geométricas e radiométricas entre as duas janelas, além de possibilitar que a correlação das imagens seja obtida pela minimização das diferenças de tons de cinza existentes nas janelas de referência e correlacionada.

Este método é designado de correlação por mínimos quadrados (LSM), e sobre ele se baseia a segunda etapa do processo de correlação digital efetuada no domínio espacial. Neste tipo de correlação cada uma das funções de tons de cinza existentes na janela correlacionada é transformada por intermédio dos parâmetros de transformação, possibilitando uma maior acurácia na determinação dos pontos homólogos.

Com isto, ao medir-se um ponto na janela de referência, seu homólogo na janela correlacionada, pode ser calculado acuradamente com uma precisão da ordem do sub-pixel [08].

É sobre esta teoria que se baseia o que BLAIS [02] chama de correlação digital realizada no domínio espacial, a qual é efetuada sobre funções bi-dimensionais.

Um aspecto importante que simplifica o processo de correlação espacial bi-dimensional, é o conhecimento das relações geométricas existentes entre o espaço imagem e o espaço objeto. Tais relações definem a chamada geometria epipolar, a qual pode ser observada na figura abaixo;

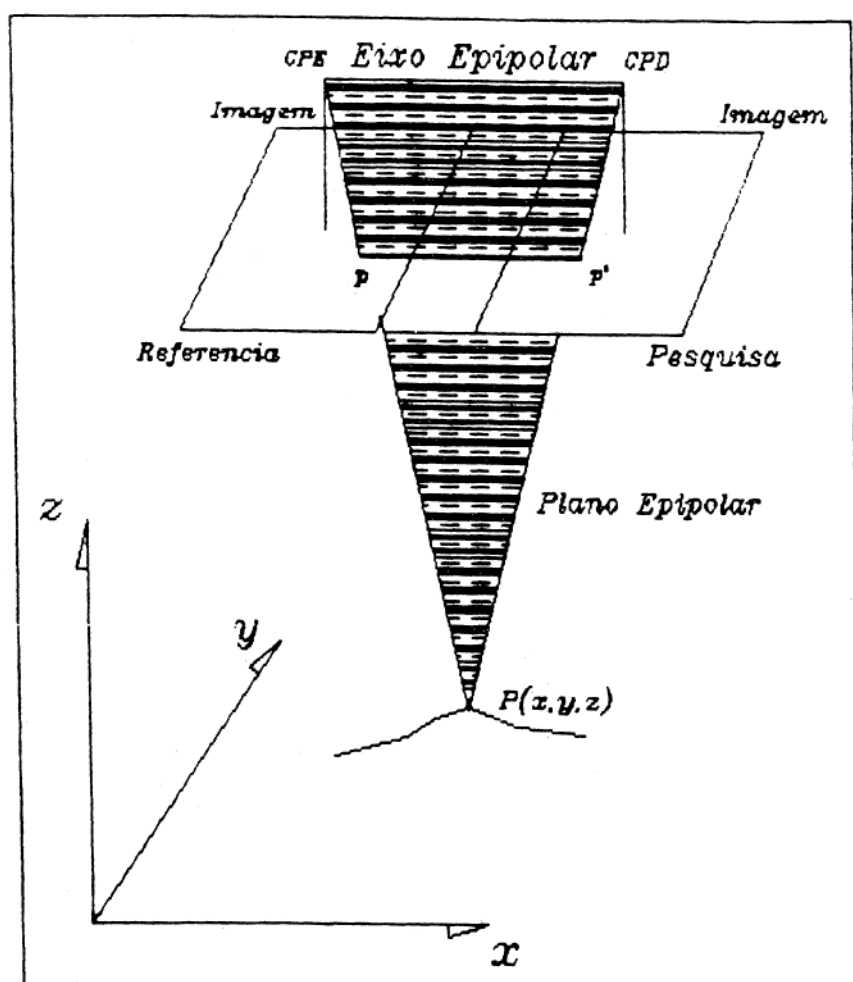


Figura 2.4 - GEOMETRIA EPIPOLAR.

Segundo YANNIRIS [29], plano epipolar, é qualquer plano que contém os centros perspectivos das imagens que compõe o estereopar relativamente orientado. Desta maneira, o terceiro ponto que participa da definição do plano epipolar encontra-se no espaço objeto, como pode ser observado na figura 2.4.

A intersecção do plano epipolar com o plano da fotografia, descreve as chamadas linhas epipolares conjugadas (LEC). A figura abaixo mostra uma vista vertical da situação que define o plano epipolar e a posição das L.E.C..

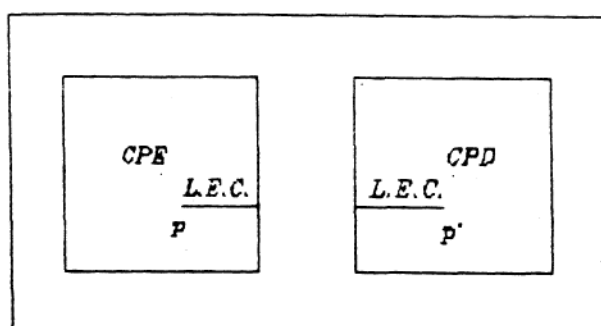


Figura 2.5 - LINHAS EPIPOLARES CONJUGADAS

Após a execução da orientação relativa de um par estereoscópico, pode-se garantir que ao longo de tais linhas a componente p_y da paralaxe é nula⁽²⁾. Isto traz de imediato uma vantagem, pois temos para tais linhas uma função uni-dimensional $G(x)$ representando a imagem. Este aspecto torna a rotina de procura da posição de melhor correlação uni-dimensional (p_x), reduzindo consideravelmente o esforço computacional [06].

(2) Isto não acontece se a orientação relativa do par não for feita com rigor, acarretando assim na existência de paralaxe residual na direção y .

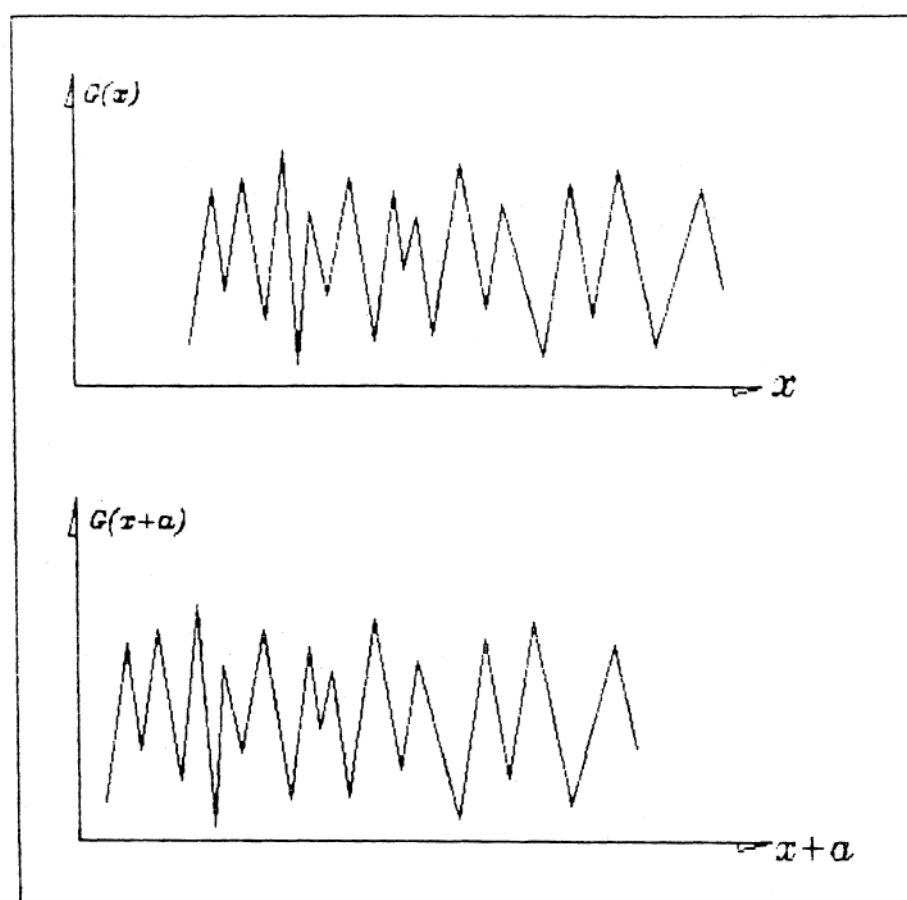


Figura 2.6. REPRESENTAÇÃO DE UMA VARREDURA FEITA AO LONGO DE UMA LINHA EPIPOLAR.

A exploração da geometria epipolar na correlação digital dá origem a uma outra técnica de correlação dentro do domínio espacial, a *correlação epipolar*.

Vale a pena ressaltar que a não exploração da geometria epipolar faz com que a imagem possua as duas componentes da paralaxe, se apresentando de maneira bi-dimensional $G(x,y)$, fazendo com que a rotina de procura da posição de melhor correlação também seja bi-dimensional.

Segundo DAL POZ & GALO [06], na correlação epipolar pode-se distinguir três etapas, que seriam;

- determinação das linhas epipolares conjugadas,
- reamostragem das imagens segundo as linhas

epipolares e

→ a correlação propriamente dita.

De acordo com KEATING [12], o processo de correlação epipolar pode ser dividido em quatro etapas, considerando que as imagens a serem correlacionadas foram adquiridas no formato analógico.

Etapa 1

As áreas de superposição das imagens que compõe o estereopar, são convertidas para o formato digital.

Segundo KEATING [12], sempre que possível, dados digitais devem ser obtidos com um padrão de varredura que facilite as operações a serem efetuadas nas imagens. Tal padrão deve ser retangular, paralelo a aerobase ou eixo epipolar. Com este procedimento tem-se uma diminuição da rotação κ e as linhas de varredura ficam aproximadamente paralelas às linhas epipolares. A figura abaixo permite uma visualização de tal padrão;

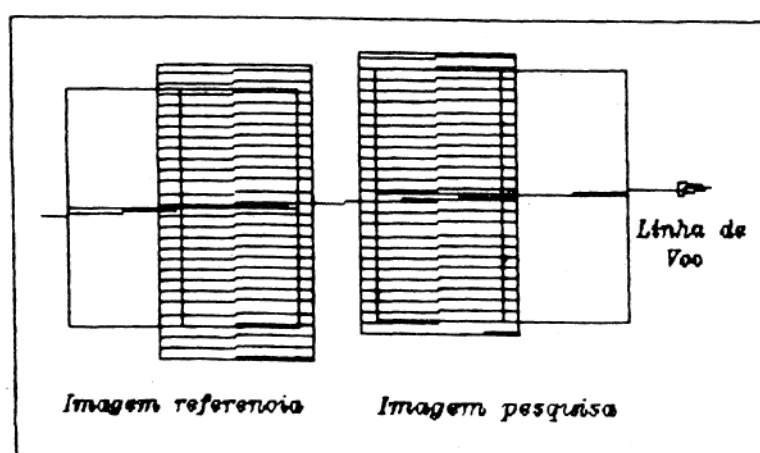


Figura 2.7 - PADRAO DE VARREDURA.

A observância destas considerações, irá facilitar o processo de reamostragem da imagem.

Etapa 2

O modelo é relativamente orientado através da correlação aproximada, ou matricial [20], onde as janelas de referência e pesquisa são combinadas até que a posição de melhor correlação seja encontrada.

Etapa 3

As linhas epipolares conjugadas são determinadas analiticamente, usando para isto parâmetros determinados na etapa 2.

Etapa 4

Nesta última etapa, efetua-se ao longo das linhas epipolares conjugadas a correlação refinada uni-dimensional e a reamostragem da imagem.

O processo de orientação relativa do estereopar digital descrito por KEATING [12], deixa bem claro que este é executado segundo duas frentes de trabalho: a primeira delas possui como campo de ação a fotogrametria digital; já a segunda atua no domínio da fotogrametria analítica, onde os dados de entrada desta, são os dados de saída daquela.

A qualidade da correlação epipolar, depende da correta determinação da posição das linhas epipolares conjugadas, que por sua vez está ligada à precisão com que são obtidos os

elementos de orientação.

Além da quantidade α citada por YANNIRIS [29] e as diferenças geométricas e radiométricas mencionadas por ACKERMANN [01], há outros fatores que afetam os sinais. De modo geral todos os fatores que assim atuam são designados por ruidos.

WALKER [27], efetuou um estudo no sentido de detectar as principais causas de ruidos de um sistema correlator e indicou como tais causas os seguintes aspectos;

Foto-célula \Rightarrow os efeitos provocados pelo desgaste desta é algo que pode ser negligenciado, porém aqueles causados por impurezas e defeitos da própria foto-célula, não podem ser desprezados, assim como o deslocamento causado pelo calor.

Amplificador \Rightarrow do mesmo modo que a foto-célula, o amplificador é sensível ao calor e desta maneira torna-se propenso a um deslocamento.

Amostragem \Rightarrow durante este processo, sensores eletrônicos medem a voltagem que vai para o amplificador durante um período de tempo muito curto. A saída deste componente é o input do conversor analógico digital. Obviamente quanto maior o período de tempo, menos precisa é a saída, principalmente se os valores variam rapidamente.

Conversor A/D \Rightarrow apesar de citado por WALKER [27], nos

dias atuais não é considerado como fonte de ruído. A tecnologia empregada para a fabricação deste componente, evoluiu consideravelmente fazendo com que não figure como uma fonte de ruído no processo. A taxa de reamostragem do conversor analógico digital, não é necessariamente a mesma daquela do sinal transmitido pela câmera CCD, isto faz com que não haja uma correspondência entre os elementos sensores e os elementos de imagem de uma linha. Tal alteração provoca o aparecimento de um fator de escala no sentido horizontal [10].

Vibrações do equipamento de varredura.

Vibrações de fontes externas → tais fatores seriam, por exemplo, as vibrações do sistema de ar condicionado.

Paralaxe em y → se houver paralaxe residual em y, a varredura no espaço do modelo não resultará em linhas correspondentes na fotografia. Esta fonte é devido a deficiência da orientação relativa.

Além das fontes aqui citadas, no processo de formação da imagem digital pelas câmeras CCD, existem outras causas de distorções, podendo-se citar, por exemplo: as distorções das lentes, o fator de escala (citado anteriormente) e deformações na matriz do sensor.

De modo geral, pode-se dizer que sobre esta teoria se baseia o que BLAIS [02] chama de correlação efetuada no domínio espacial, a qual pode ser realizada de maneira uni ou

bi-dimensional, como visto. Cabe ressaltar que todos os ruídos que afetam o domínio espacial, também se verificam no domínio espectral.

Informações sobre a modelagem matemática deste domínio (espacial) de atuação da correlação digital podem ser encontradas [01], [17] e [20].

Passar-se-á agora ao que BLAIS [02] chama de segundo domínio de atuação da correlação digital, o domínio espectral.

2.3. Domínio Espectral

A possibilidade de representar a imagem digital como descrito na figura 2.1, favorece a aplicação da correlação digital no domínio espectral.

A correlação espectral, como o próprio nome sugere, é realizada neste domínio e se fundamenta na análise espectral das janelas de referência e de pesquisa.

Segundo KRATKY [14], toda a função contínua definida em um certo intervalo no domínio espacial, pode ser unicamente representada por uma equivalência analítica (função) no domínio da frequência (espectral). A observação da figura 2.2, mostra que a imagem digital é uma função definida num dado intervalo do domínio espacial, e pode ser unicamente representada no

domínio da frequência.

A relação entre a função definida no domínio espacial e a função definida no domínio espectral é estabelecida pela *Transformada de Fourier*.

A metodologia de execução da correlação espectral apresentada por BLAIS [02], se fundamenta basicamente na função ângulo de fase da transformada. Este aspecto faz com que a correlação espectral seja conhecida também por correlação de fase.

Em termos práticos, o processo de correlação de fase é bem parecido com a correlação espacial. A diferença está na formulação matemática utilizada, a qual leva o processo de correlação digital para domínios diferentes.

Definidas na imagem as janelas de referência e pesquisa, aplica-se sobre elas a *Fast Fourier Transformation* (FFT) para o caso discreto. A metodologia, assim como a formulação matemática necessária para a realização da correlação de fase e considerações a respeito da técnica, serão apresentadas na sequência.

CAPÍTULO 3

PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA CORRELAÇÃO ESPECTRAL

Este capítulo apresentará a teoria matemática sobre a qual se fundamenta a correlação espectral e a formulação básica necessária para sua execução.

3.1. Introdução

A análise espectral, sobre a qual se fundamenta a correlação de fase, está alicerçada na teoria matemática das Transformadas de Fourier, a qual permite que uma função no domínio espacial seja representada no domínio da frequência ou espectral. Assim sendo, a transformada passa a ser a representação no domínio da frequência (espectral), de uma função definida no domínio espacial.

No momento da aquisição de uma imagem digital, o que é captado pelos sensores de uma CCD, por exemplo, nada mais é que a resposta espectral do objeto ou área imageada. Porém, deve se ter em mente que esta resposta está relacionada com o espectro eletromagnético.

Para um melhor entendimento dos modelos matemáticos que executam as quatro etapas do processo de correlação, bem como da metodologia empregada, faz-se necessário uma breve revisão de tais Transformadas, suas propriedades e de suas implicações.

3.2. Transformadas de Fourier

3.2.1. Considerações Iniciais

A solução de muitos problemas pode ser encontrada com uso das Transformadas de Fourier. Em alguns casos a resolução só é possível através do emprego de tais transformadas. A gama de aplicações para tal técnica é tão grande que BRIGHAMM [04] a chama de "onipotente" e ressalta como aplicações típicas das transformadas as seguintes áreas:

Sistemas Lineares;

Antenas;

Ótica;

Processos Randômicos;

Probabilidade;

Física Quântica e

Problemas de Valor de Contorno.

Os processos randômicos e probabilísticos estão ligados com a fotogrametria digital, na medida que uma função de tom de cinza pode ser encarada como uma variável aleatória

|SILVA & DALMOLIN|.

A implementação das Transformadas de Fourier, dado as suas características, implicava em uma alta demanda computacional o que por algum tempo dificultou o seu uso. A substituição da forma contínua (integral) pela forma discreta (somatório) foi o primeiro passo na solução deste inconveniente.

Muitos trabalhos foram efetuados no sentido de diminuir a alta demanda computacional exigida pela Transformada. Em 1965 COOLEY e TUKEY desenvolveram um algoritmo matemático que reduz o esforço computacional para algo da ordem de $N \log_2 N$ ao invés de N^2 . Tal algoritmo ficou conhecido como *Transformadas Rápidas de Fourier*.

Para o entendimento da técnica de correlação digital realizada no domínio espectral apresentar-se-á o desenvolvimento matemático das Transformadas de Fourier.

3.2.2. Desenvolvimento Matemático Das Transformadas de Fourier

Uma função definida no domínio espacial, possui uma equivalência analítica no domínio da frequência. Desta maneira, sendo $G(x,y)$ uma função definida em um dado intervalo do domínio espacial, pode-se afirmar que existe uma representação analítica $G(u,v)$ desta função no domínio espectral.

A relação funcional entre $G(x,y)$ e $G(u,v)$ é estabelecida por um par de Transformadas de Fourier as quais se apresentam da seguinte maneira:

$$\mathcal{F}\{G(x,y)\} = G(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(x,y) \exp[-j2\pi (ux+vy)] dx dy \quad (3.1)$$

$$\mathcal{F}^{-1}\{G(u,v)\} = G(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(u,v) \exp[j2\pi (ux+vy)] du dv \quad (3.2)$$

onde $j = \sqrt{-1}$ representa a unidade imaginária.

Lançando mão da Fórmula de Euler, pode-se verificar com relativa facilidade que a Transformada de Fourier pode ser dividida em duas partes: uma real e outra imaginária. Com isto, pode-se escrever a expressão (3.1) da seguinte forma:

$$G(u,v) = R(u,v) + jI(u,v) \quad (3.3)$$

onde $R(u,v)$ representa a parte real e $I(u,v)$ a parte imaginária.

GONZALES [11], afirma que em muitos casos é conveniente escrever a expressão (3.1) na forma exponencial como abaixo:

$$G(u,v) = |G(u,v)| e^{j\angle(u,v)} \quad (3.4)$$

onde $|G(u,v)|$ é dado pela seguinte expressão:

$$|G(u,v)| = \left[R^2(u,v) + I^2(u,v) \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

e $\Phi(u,v)$ por,

$$\Phi(u,v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u,v)}{R(u,v)} \right] \quad (3.6)$$

A expressão (3.5) denota $|G(u,v)|$ como sendo a função *espectro de Fourier* de $G(x,y)$ e a expressão (3.6) denota $\Phi(u,v)$ como sendo a função *ângulo de fase* de $G(x,y)$, esta função é de extrema importância pois a correlação digital propriamente dita é executada por ela.

Elevando a expressão (3.5) ao quadrado obtém-se

$$|G(u,v)|^2 = \left[R(u,v)^2 + I(u,v)^2 \right] = P(u,v) \quad (3.7)$$

a qual denota $P(u,v)$ como sendo a função *espectro de energia* de $G(x,y)$.

As variáveis u e v são chamadas variáveis de frequência. Segundo GONZALES [11], tal designação surge do uso da fórmula de Euler para representar o termo exponencial,

$$\exp \left[-j 2\pi (ux + vy) \right] = \left[\cos 2\pi ux - j \operatorname{Sen} 2\pi ux \right] + \left[\cos 2\pi vy - j \operatorname{Sen} 2\pi vy \right] \quad (3.8)$$

A substituição do termo exponencial na expressão (3.1), faz com que a Transformada de Fourier $G(u,v)$ seja

interpretada como uma soma infinita de termos em seno e co-seno. Nesta situação, as variáveis u e v determinam a frequência do par Seno/Co-seno.

A transformada de Fourier pode ser facilmente reduzida para o caso uni-dimensional. Assim sendo tem-se

$$\mathcal{F}\{G(x)\} = G(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(x) \exp[-j2\pi ux] dx \quad (3.9)$$

$$\mathcal{F}^{-1}\{G(u)\} = G(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(u) \exp[j2\pi ux] du \quad (3.10)$$

representando o par de transformadas para o caso uni-dimensional. A exemplo do caso bi-dimensional, a função espectro de Fourier e ângulo de fase são respectivamente dadas por,

$$|G(u)| = \left[R^2(u) + I(u)^2 \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

e

$$\phi(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \quad (3.12)$$

A existência da Transformada de Fourier e suas funções está, segundo BRIGHAMM [04], ligada a três condições:

Condição 01

A função $G(x,y)$ deve ser integrável de modo que

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |G(x,y)| \, dx \, dy < \infty \quad (3.13)$$

Esta condição é considerada suficiente mas não necessária para a existência da Transformada. Há funções que não satisfazem esta condição, ou seja, que não são integráveis, e no entanto possuem a Transformada. Esta classe de funções é coberta pela condição 02.

Condicao 02

Seja $G(x,y)$ uma função não integrável e $|x,y| > \lambda_1, \lambda_2 > 0,0$; então a função $\frac{G(x,y)}{|x,y|}$ satisfaz a expressão (3.13), existindo assim a transformada.

Condicao 03

Esta condição atinge os problemas de variação de contorno e está ligada com a função delta de Dirac $\delta(t)$, a qual segundo BOYCE [03] é uma função que deve ter as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} \delta(t) &= 0, \quad t \neq 0; \\ \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) \, dt &= 1 \end{aligned}$$

Esta função é especialmente usada quando se trabalha com fenômenos de natureza impulsiva em intervalos de tempo muito curtos, pode-se citar como exemplo disto a voltagem.

Ver-se-á no decorrer do trabalho, que no

processo de obtenção da imagem digital (discretização), há perda de informação a qual pode ser minimizada com a escolha adequada da frequência de amostragem, sendo esta, *duas vezes menor* que a *maior* componente espacial da imagem. Com isto podemos dizer que o processo de amostragem pode ser tratado como um fenômeno de natureza impulsiva em um curto intervalo de tempo. Assim sendo, o processo de amostragem pode ser melhor explicado pela função delta de Dirac.

Para o caso da correlação digital todas as condições devem ser consideradas, em especial as condições 01 e 02.

Não é necessário demonstrações matemáticas complexas para concluir que as expressões (3.1), (3.2), (3.9) e (3.10) são de difícil implementação computacional. Isto foi apenas um dos diversos motivos que levaram ao desenvolvimento da forma discreta para a Transformada de Fourier.

3.2.2.1. Obtenção da Transformada Discreta

De acordo com BRIGHAMM [04], o primeiro passo para obtenção da transformada discreta de Fourier, é amostrar⁽³⁾ a função $G(x,y)$.

(3) Tomando aqui, amostragem e discretização com o mesmo significado.

No caso da correlação digital a discretização acontece no processo de aquisição da imagem digital. Neste processo ocorre a quantização espacial e radiométrica.

O processo de amostragem realiza a transformação de uma função contínua em uma função discreta. Isto representa a primeira modificação no par original da transformada.

Neste ponto, a atual função $G(x,y)$ difere da original apenas pelo efeito produzido pela discretização, mais conhecido por "aliasing".⁽⁴⁾ É importante lembrar que em todo o processo de discretização há perda de informação, a qual pode ser graficamente representada da forma abaixo:

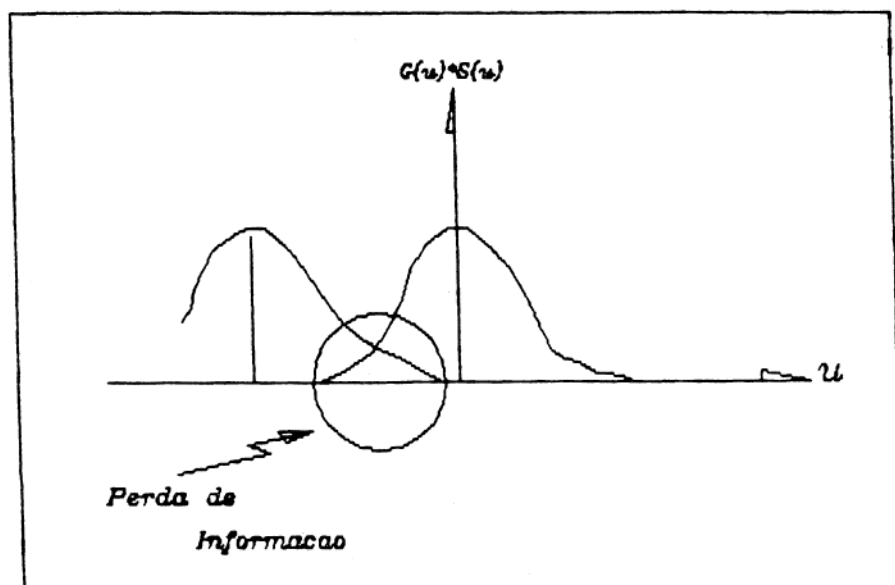


Figura 3.1 - PERDA DE INFORMACAO DECORRENTE DA DISCRETIZACAO DA FUNCAO.

⁽⁴⁾ termo pelo qual também é conhecido a perda de informação [02].

Este efeito produzido pela perda de informação é conhecido por efeito Nyquist.

A não ocorrência deste efeito está diretamente ligado com a escolha adequada do intervalo de amostragem, ou seja com a frequência de amostragem (T) a qual deve ser duas vezes menor que a maior componente do domínio espacial (E). Assim sendo, tem-se $T \leq 2E$.

No caso da imagem digital esta frequência está diretamente ligado com o equipamento utilizado para se fazer a aquisição da mesma.

Segundo GALO [09], o processo de formação da imagem digital em uma câmera CCD se dá da seguinte maneira: o feixe luminoso proveniente do espaço objeto atravessa o sistema de lentes e incide sobre os elementos sensores localizados no plano focal, gerando um sinal elétrico. Este sinal passa por um processo de amplificação, e o sinal resultante é convertido em uma grandeza discreta, tom de cinza, por meio de um conversor analógico/digital.

A conversão analógico/digital, é o processo de amostragem da função analógica contínua, representada pela imagem propriamente dita, em uma função discreta representada pela imagem digital, a qual nada mais é do que uma série de grandezas digitais [09].

A frequência de saída do conversor analógico/digital,

varia de acordo com o equipamento utilizado e determina a frequência de amostragem da imagem.

O próximo passo para se obter a Transformada Discreta de Fourier é a truncagem da função amostrada para um número finito.

Os limites de definição da integral nas expressões (3.1), (3.2), (3.9) e (3.10) é de $-\infty$ a $+\infty$. A manutenção destes limites para o caso discreto, implica em não se ter uma diminuição significativa do esforço computacional. Por isso faz-se a amostragem de um número finito N de elementos.

Na imagem digital, N nada mais é do que o número de pixels contidos nas imagens a serem correlacionadas.

Pode-se dizer que a única restrição ao emprego da Transformada Discreta de Fourier é quanto a este número N , o qual deve ser potência de dois $N = 2^n$.

Segundo BRIGHAM [04], esta truncagem introduz uma segunda modificação na Transformada original, fazendo com que haja o aparecimento de ondulações no domínio da frequência, as quais podem ser facilmente observadas na figura abaixo:

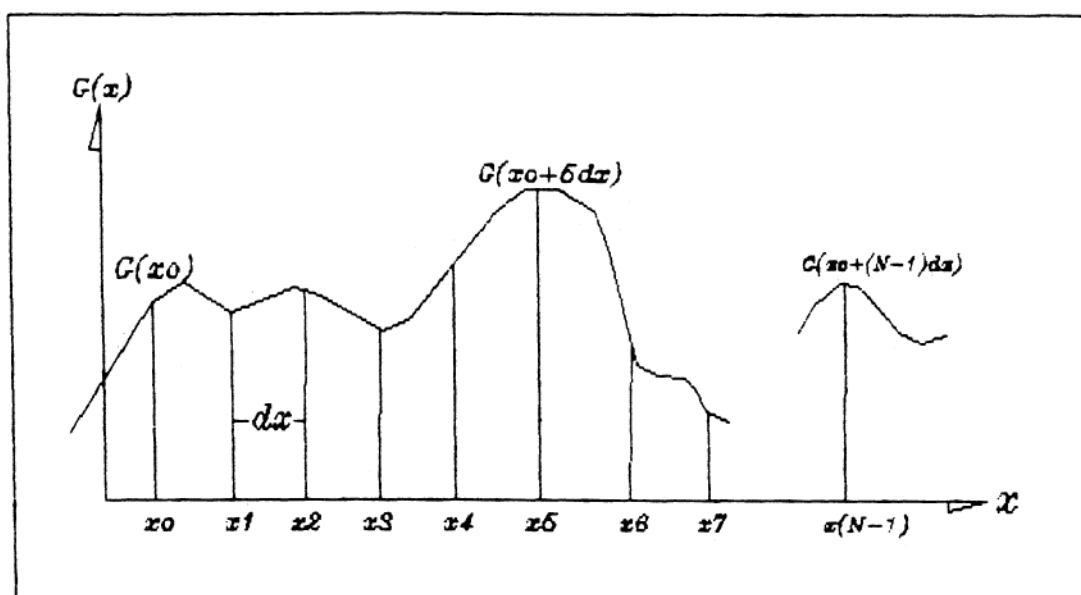


Figura 3.2. - EFEITO DA TRUNCAÇÃO DA FUNÇÃO DISCRETIZADA.

Para reduzir este efeito recorre-se a relação existente entre o comprimento da função $G(x,y)$ e a transformada $G(u,v)$. Tal relação explica o aparecimento do termo $\frac{1}{MN}$ na expressão (3.18) e $\frac{1}{N}$ na expressão (3.15) [14].

O par da Transformada Discreta de Fourier só é aceite para propósitos de cálculos computacionais quando o domínio espacial x,y e o domínio da frequência u,v forem representados por valores discretos. Assim sendo, as duas modificações aplicadas ao domínio espacial também são impostas ao domínio da frequência.

No domínio espacial a multiplicação de uma função contínua $f(x,y)$ pela função delta de Dirac $\delta(x,y)$, resulta na $f(x,y)$ discretizada. No domínio espectral a operação equivalente é a convolução de $f(x,y)$ com a função delta de

Dirac $\delta(x, y)$.

Para um melhor entendimento do processo, será mostrado para o caso uni-dimensional, a obtenção do par de Transformada Discreta de Fourier, supondo que $G(x)$ seja uma função contínua amostrada nesta sequência $\{f(x_0), f(x_0 + \Delta x), f(x_0 + 2\Delta x), \dots, f(x_0 + [N - 1] \Delta x)\}$

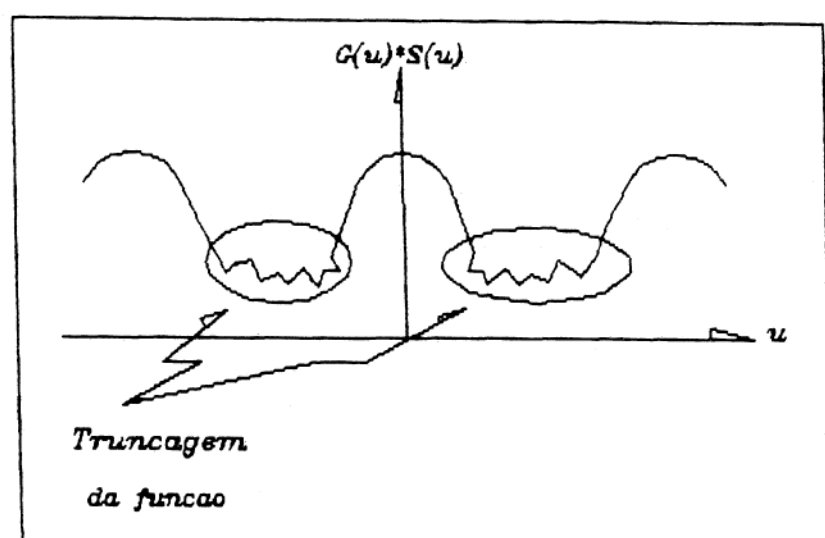


Figura 3.3 - DISCRETIZACAO DE UMA FUNCAO CONTINUA.

É importante ressaltar que a perda de informação decorrente do processo de amostragem só é minimizada com a escolha adequada do intervalo de amostragem dx (T). A resolução do equipamento utilizado é outro aspecto que contribui para a minimização desta perda de informação [09].

A função discretizada $f(x)$ pode ser escrita da seguinte maneira:

$$f(x) = f(x_0 + x \Delta x) \quad (3.14)$$

onde x agora assume valores discretos que variam em $0, 1, 2, \dots, N - 1$. Em outras palavras a sequência $\{f(0), f(1), f(2), \dots, f(N - 1)\}$ passa a denotar N elementos uniformemente espaçados e amostrados de uma função contínua correspondente.

Se observarmos a figura 2.1, veremos que tais elementos podem ser associados a imagem digital, pois nela temos N elementos uniformemente espaçados e amostrados, os quais representam os pixels. Em cada posição existe um número inteiro associado o qual corresponde a função de tom de cinza.

A demonstração matemática em todos os seus pormenores, da Transformada Discreta de Fourier, não faz parte do escopo deste trabalho e pode ser encontrada em BRIGHAMM [04]. Aqui apresentar-se-á as expressões finais das mesma.

Para o caso uni-dimensional, a Transformada Discreta é dada pela seguinte expressão:

$$G(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} G(x) \exp \left[\frac{-j 2\pi ux}{N} \right] \quad (3.15)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

e

$$G(x) = \sum_{u=0}^{N-1} G(u) \exp \left[\frac{j 2\pi ux}{N} \right] \quad (3.16)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, N - 1.$$

Os valores que a variável u assume na expressão (3.15), correspondem a amostragem da função contínua no domínio da frequência, pois como dissemos anteriormente, a transformada discreta só pode ser usada se a função contínua for discretizada nos dois domínios. Com isso $G(u)$ pode ser representado da seguinte maneira:

$$G(u) = G(u \Delta u) \quad (3.17)$$

Ao comparar as expressões (3.14) e (3.17), ver-se-á que são similares, diferindo apenas quanto a origem da amostragem, pois para $G(x)$ esta não se deu na origem do eixo x . Este fato explica a existência de x_0 na expressão (3.14). Já para $G(u)$ a amostragem se inicia na origem do eixo da frequência. Por isso a inexistência do fator de translação na expressão (3.17).

Para o caso bi-dimensional, o par de Transformadas Discretas é dado pelas equações,

$$G(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (3.18)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

e

$$v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$G(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} G(u, v) \exp \left[j 2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (3.19)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

e

$$y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

onde M e N representam o número de elementos amostrados ao longo do eixo x e y respectivamente.

Para melhor visualização, seja uma área retangular de M colunas por N linhas dentro de uma imagem digital onde a Transformada de Fourier será aplicada. No caso da correlação digital, esta área vem a ser a região delimitada pelas janelas de referência e pesquisa tal como mostra a figura abaixo

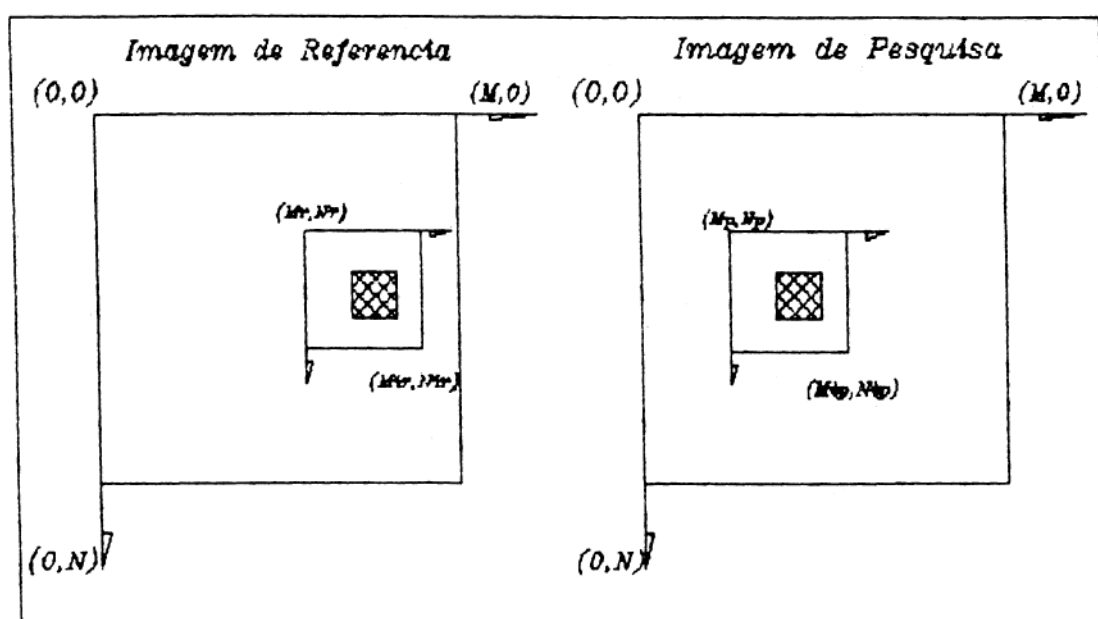


Figura 3.4 - ÁREA DE APLICACAO DA TRANSFORMADA DE FOURIER NA IMAGEM DIGITAL.

Nada impede, a não ser a capacidade de armazenamento do *Hardware*, que toda a foto seja transformada, porém aplica-se a transformada apenas nas janelas acima mencionadas.

Pode-se dizer que ao delimitar na imagem, as janelas a

serem correlacionadas, está se efetuando uma segunda truncagem da função original representada pela imagem original.

Sendo na área amostrada o número de linhas igual ao número de colunas, isto é, M igual a N , as expressões (3.18) e (3.19) passam a ser expressas por:

$$G(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (3.20)$$

$$u, v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

e

$$G(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} G(u, v) \exp \left[j 2\pi \left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (3.21)$$

$$x, y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

No caso discreto, a exemplo do caso contínuo, também existe as funções espectro de Fourier e ângulo de fase, ficando expressas respectivamente para o caso bi-dimensional por,

$$|G(u, v)| = \left[R^2(u, v) + I^2(u, v) \right]^{1/2} \quad (3.22)$$

$$\phi(u, v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \quad (3.23)$$

e para o caso uni-dimensional,

$$|G(u)| = \left[R^2(u) + I^2(u) \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

$$\Phi(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \quad (3.25)$$

Como pode-se observar, estas são iguais àquelas apresentadas para o caso contínuo. A diferença fundamental está na interpretação das variáveis u e v envolvidas. Nas expressões (3.22), (3.23), (3.24), e (3.25) tais variáveis são tidas como variáveis discretas. Já as expressões (3.5), (3.6), (3.11) e (3.12) u e v representam variáveis contínuas.

Segundo BRIGHAM [04], a informação contida no domínio da frequência é a mesma da função original⁽⁵⁾. Assim sendo, ao se aplicar a transformada nas janelas de referência e pesquisa, e em seguida aplicar a transformada inversa para retornar ao domínio original, obtém-se os valores originais do domínio espacial.

A perda de informação decorrente da amostragem não é significativa a ponto de inviabilizar o processo. Vale a pena ressaltar que na aplicação da transformada para obter a representação analítica no domínio da frequência, não há perda de informação.

No próximo item serão apresentadas algumas propriedades da Transformada de Fourier, que podem ser muito

(5) a não ser pela perda de informação decorrente do processo de amostragem.

úteis nos estudos desenvolvidos.

3.2.3. Propriedades das Transformadas de Fourier

Para um melhor entendimento das *Transformadas de Fourier*, é de fundamental importância o conhecimento das propriedades que as governam.

Não é objetivo deste trabalho a pormenorização matemática de tais propriedades, caso o leitor deseje um maior detalhamento pode encontrá-lo em BRIGHAMM [04].

Para a apresentação das propriedades designa-se $Gr(x,y)$ e $Gp(x,y)$ como sendo as funções que descrevem a janela de referência e pesquisa respectivamente, e $Gr(u,v)$ e $Gp(u,v)$ como sendo as funções que representam as transformadas das janelas de referência e pesquisa.

Propriedade 01 - Separabilidade

Se $Gr(x,y)$ e $Gp(x,y)$ possuem como transformada $Gr(u,v)$ e $Gp(u,v)$, então $Gr(x,y) + Gp(x,y)$ terá como transformada $Gr(u,v) + Gp(u,v)$. Matematicamente tem-se:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left[Gr(x,y) + Gp(x,y) \right] \exp \left[-j 2\pi \left(ux + vy \right) \right] dx dy =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_{-\infty}^{+\infty} G_r(u, v) \exp \left[-j 2\pi \left(ux + vy \right) \right] du dv + \int_{-\infty}^{+\infty} G_p(u, v) \\
&\exp \left[-j 2\pi \left(ux + vy \right) \right] du dv
\end{aligned}
\tag{3.26}$$

valendo também para o caso discreto.

Esta propriedade permite escrever as expressões (3.18) e (3.19) da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
G_c(u, v) &= \frac{1}{MN} \left[\sum_{x=0}^{M-1} G_r(x, y) \exp \left[\frac{-j 2\pi ux}{N} \right] \sum_{y=0}^{N-1} G_p(x, y) \right. \\
&\quad \left. \exp \left[\frac{-j 2\pi vy}{M} \right] \right]
\end{aligned}
\tag{3.27}$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$\begin{aligned}
G_c(x, y) &= \left[\sum_{u=0}^{M-1} G_r(u, v) \exp \left[\frac{j 2\pi ux}{N} \right] \sum_{v=0}^{N-1} G_p(u, v) \exp \left[\frac{j 2\pi vy}{M} \right] \right]
\end{aligned}
\tag{3.28}$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

onde $G_c(u, v)$ representa a transformada da soma.

Esta propriedade facilita a implementação computacional das transformadas. GONZALES [11], explorando esta

propriedade obtém a transformada de uma função bi-dimensional pela aplicação sucessiva da transformada uni-dimensional.

Propriedade 02 - Translação

Se a função $Gr(x,y)$ apresentar um deslocamento x_0, y_0 , então sua transformada também apresentará tal deslocamento

$$Gr(x + x_0, y + y_0) = Gr(u + u_0, v + v_0) \quad (3.29)$$

O uso adequado desta propriedade, provoca o deslocamento da origem da transformada de Fourier de $Gr(x,y)$, para qualquer ponto dentro da janela amostrada, basta para isso que a função $Gr(x,y)$ seja multiplicada por $(-1)^{x+y}$, se estivermos trabalhando com uma função uni-dimensional $Gr(x)$, esta deve ser multiplicada por $(-1)^x$ [11].

A aplicação desta propriedade não afeta a magnitude da transformada.

Propriedade 03 - Periodicidade e Simetria Conjugada

O par de transformada discreta de Fourier é tido como sendo funções periódica com período N , com isso tem-se,

$$G(u,v) = G(u + N,v) = G(u,v + N) = G(u + N,v + N) \quad (3.30)$$

A demonstração desta propriedade pode ser facilmente conseguida pela substituição de $u+N$ e $v+N$ nas expressões (3.18) e (3.19). Deve-se ter em mente que basta um período da transformada para representá-la completamente no domínio da frequência.

Se a função $G_r(x,y)$ ou $G_p(x,y)$ for real, então a transformada exibe a propriedade de simetria conjugada e neste caso tem-se:

$$G(u,v) = G^*(-u,-v) \quad (3.31)$$

Esta propriedade pode ser melhor visualizada através da figura abaixo

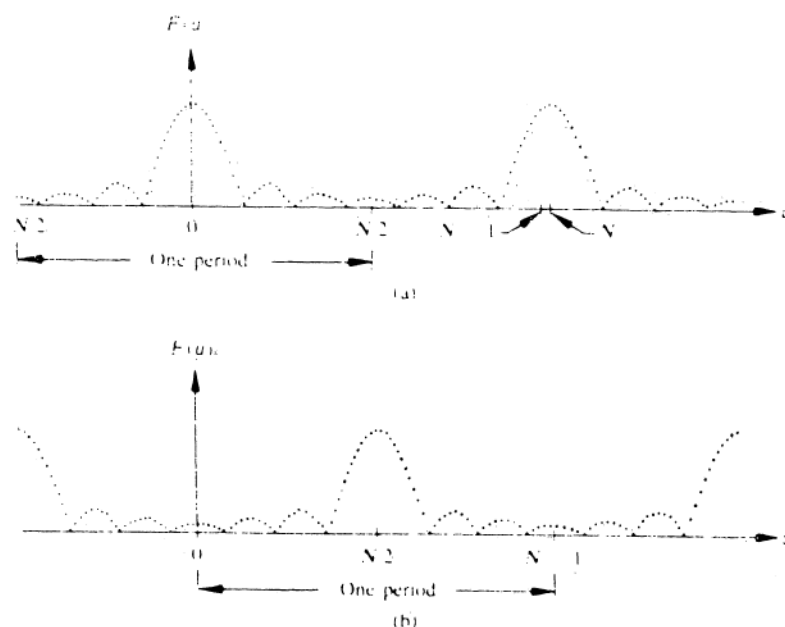


Figura 3.5 - PERIODICIDADE E SIMETRIA CONJUGADA DA FUNÇÃO. ADAPTADO DE GONZALES 1987.

Propriedade 04 - Rotação

Esta propriedade assegura que se $G(x,y)$ for rotacionada de um ângulo θ , sua transformada $G(u,v)$ também será rotacionada do mesmo valor θ . Da mesma maneira se $G(u,v)$ for rotacionada, $G(x,y)$ será rotacionada do mesmo valor.

Propriedade 05 - Distributiva e Escala

A distributiva é uma propriedade que atua na soma de transformadas, fazendo com que esta seja igual a transformada da soma, porém não atua sobre o produto das transformadas.

Sendo a e b dois escalares quaisquer tem-se:

$$\begin{array}{l} a G(x,y) \Leftrightarrow a G(u,v) \\ G(ax,by) \Leftrightarrow \frac{1}{|ab|} G(u/a, v/b) \end{array} \quad (3.32)$$

O conhecimento das propriedades aqui mencionadas, irá facilitar o entendimento de algumas considerações que serão tecidas mais adiante.

3.2.4 Transformada Rápida de Fourier

A forma discreta aqui apresentada não resolve de forma satisfatória o problema da alta demanda computacional. O

esforço computacional para efetuar a transformada é ainda muito alto.

Apenas para exemplificar tal demanda, toma-se como exemplo a expressão (3.16). O número de multiplicações complexas e adições requeridos por esta expressão é da ordem de N^2 . Para cada valor de N e u , a expansão do somatório requer N multiplicações complexas de $G(x)$ por $\exp \left[\frac{-j 2\pi ux}{N} \right]$ e $(N-1)$ adições dos resultados.

O esforço computacional para efetuar a transformada considerando N^2 operações é muito alto, dificultando sua implementação. Em função desta alta demanda, COOLEY & TUKEY desenvolveram um algoritmo que reduz para $N \log_2 N$ o número de operações. Assim sendo, a alta demanda computacional também foi reduzida. Este algoritmo, ficou mundialmente conhecido como *Transformadas Rápidas de Fourier (FFT)*.

A maioria dos algoritmos apresentados pela literatura consultada, executam a transformada de Fourier na forma uni-dimensional.

No caso da correlação digital, esta forma cabe quando há a exploração da geometria epipolar, porém nem sempre é possível explorar tal geometria. Em tais casos o uso da forma bi-dimensional é obrigatório.

A observação da tabela 3.1, deixa mais claro a redução do esforço computacional.

N	N ²	N log ₂ N
2	4	2
4	16	8
8	64	24
16	256	64
32	1024	160
64	4096	384
128	16384	896
256	65536	2048
512	262144	4608
1024	1048576	10240

Tabela 3.1 - COMPARACAO ENTRE A TRANSFORMADA DE FOURIER E A TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER EM TERMOS DE NUMERO DE OPERACOES. ADAPTADA DE GONZALEZ 1987.

O desenvolvimento de uma rotina que execute a Transformada Rápida de Fourier na forma bi-dimensional, é algo que foge ao escopo do trabalho. A correta exploração da propriedade de separabilidade, torna possível a obtenção da transformada bi-dimensional pela aplicação sucessiva da transformada uni-dimensional.

Sendo $N \times N$ a dimensão da área amostrada, sua transformada é dada por:

$$G(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (3.33)$$

$$u, v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

explorando a propriedade 01, tal expressão pode ser reescrita da seguinte maneira

$$G(u, v) = \frac{1}{N} \left[\sum_{x=0}^{N-1} \exp \left[\frac{-j 2\pi ux}{N} \right] \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp \left[\frac{-j 2\pi vy}{N} \right] \right] \quad (3.34)$$

$$G(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} G(x, v) \exp \left[\frac{-j 2\pi ux}{N} \right] \quad (3.35)$$

onde

$$G(x, v) = N \left[\frac{1}{N} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp \left[\frac{-j 2\pi vy}{N} \right] \right] \quad (3.36)$$

É fácil verificar que para cada valor de x a expressão dentro dos colchetes é a transformada uni-dimensional com $v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$. A função $G(x, v)$ resulta da aplicação da transformada ao longo de cada linha de $G(x, y)$ e posterior multiplicação por N . O resultado final, $G(u, v)$, é então obtido pela aplicação da transformada ao longo da colunas de $G(x, v)$. Este procedimento é sumarizado na figura abaixo

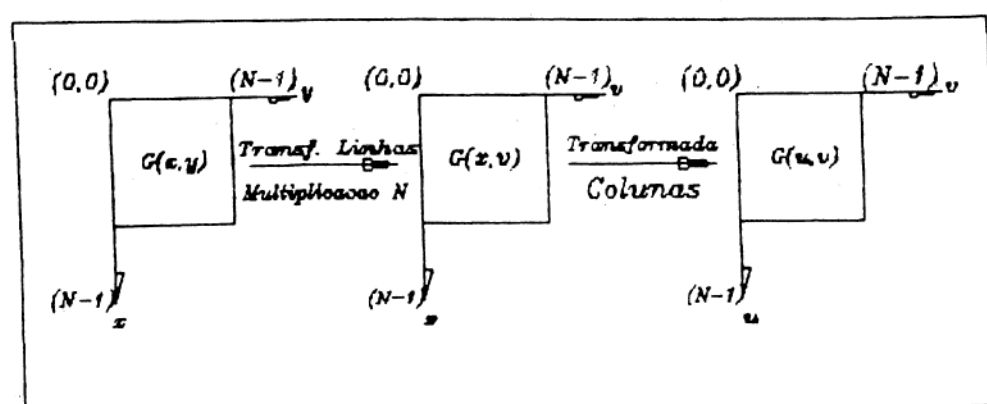


Figura 3.6 - CÁLCULO DA TRANSFORMADA BI-DIMENSIONAL PELA APLICAÇÃO SUCESSIVA DA TRANSFORMADA UNI - DIMENSIONAL. ADAPTADO DE GONZALES 1987.

Para um melhor entendimento de como se obtém as Transformadas para uma pequena porção da imagem digital, lançar-se-á mão de um exemplo. Imaginemos uma pequena janela em uma imagem digital;

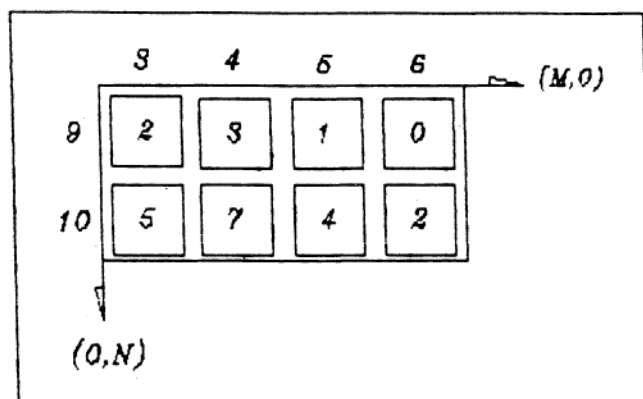


Figura 3.7 - REPRESENTACAO DE UMA JANELA.

$M \Rightarrow$ Coluna $\Rightarrow x$

$N \Rightarrow$ Linha $\Rightarrow y$

$N \Rightarrow$ Número de elementos amostrados ($N = 2^n = 2^3 = 8$)

$k \Rightarrow$ Número de pixels ($k = 8$)

$M \Rightarrow$ Número de colunas ($M = 4$)

$N \Rightarrow$ Número de Linhas ($N = 2$)

$u \Rightarrow$ varia de 0 a $M - 1 \Rightarrow u = 0, 1, 2, 3$

$v \Rightarrow$ varia de 0 a $N - 1 \Rightarrow v = 0, 1$

desta maneira pode-se escrever;

$G(x_0, y_0) = G(M_0, N_0) = G(3, 9) = 2$	Primeira Linha de Varredura
$G(x_1, y_0) = G(M_1, N_0) = G(4, 9) = 3$	
$G(x_2, y_0) = G(M_2, N_0) = G(5, 9) = 1$	
$G(x_3, y_0) = G(M_3, N_0) = G(6, 9) = 0$	

$$\begin{array}{l}
 G(x_0, y_1) = G(M_0, N_1) = G(3, 10) = 5 \\
 G(x_1, y_1) = G(M_1, N_1) = G(4, 10) = 7 \\
 G(x_2, y_1) = G(M_2, N_1) = G(5, 10) = 4 \\
 G(x_3, y_1) = G(M_3, N_1) = G(6, 10) = 2
 \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Segunda Linha de} \\ \text{Varredura} \end{array} \right.$$

utilizando a expressão

$$\mathcal{F}^{-1}\{G(x, y)\} = G(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y) \exp\left[-j 2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)\right]$$

para obter a transformada tem-se:

para $u = 0, v = 0$

$$\begin{aligned}
 G(0, 0) = & \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3, 9) \exp\left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 0}{4} + \frac{0 \times 0}{2}\right)\right] + G(4, 9) \exp\left[-j \right. \right. \\
 & 2\pi \left(\frac{0 \times 1}{4} + \frac{0 \times 0}{2}\right)\right] + G(5, 9) \exp\left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 2}{4} + \frac{0 \times 0}{2}\right)\right] + \\
 & \left. + G(6, 9) \exp\left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 3}{4} + \frac{0 \times 0}{2}\right)\right] \right\}
 \end{aligned}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(0, 0) = \frac{1}{8} (2 + 3 + 1 + 0) = \frac{6}{8}$$

$$G(0, 0) = \frac{6}{8}$$

para $u = 1, v = 0$

$$G(1,0) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 0}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(4,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 1}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(5,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 2}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(6,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 3}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(1,0) = \frac{1}{8} \left[2 + 3 \exp \left(-j \frac{\pi}{2} \right) + 1 \exp(-j\pi) \right]$$

para $u = 2, v = 0$

$$G(2,0) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 0}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(4,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 1}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(5,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 2}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(6,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 3}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(2,0) = \frac{1}{8} \left[2 + 3 \exp(-j\pi) + 1 \exp(-j2\pi) \right]$$

para $u = 3, v = 0$

$$G(3,0) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 0}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(4,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 1}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(5,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 2}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] + G(6,9) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 3}{4} + \frac{0 \times 0}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(3,0) = \frac{1}{8} \left[2 + 3 \exp \left(\frac{-j 3\pi}{2} \right) + 1 \exp(-j 6\pi) \right]$$

para $u = 0, v = 1$

$$G(0,1) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(4,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(5,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 2}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(6,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{0 \times 3}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(0,1) = \frac{1}{8} \left[5 \exp(-j\pi) + 7 \exp(-j\pi) + 4 \exp(-j\pi) + 2 \exp(-j\pi) \right]$$

para $u = 1, v = 1$

$$G(1,1) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(4,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(5,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 2}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(6,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{1 \times 3}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(1,1) = \frac{1}{8} \left[5 \exp(-j\pi) + 7 \exp\left(-j \frac{3\pi}{2}\right) + 4 \exp(-j2\pi) + 2 \exp\left(-j \frac{5\pi}{2}\right) \right]$$

para $u = 2, v = 1$

$$G(2,1) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(4,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(5,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 2}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(6,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{2 \times 3}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(2,1) = \frac{1}{8} \left[5 \exp(-j\pi) + 7 \exp(-j2\pi) + 4 \exp(-j3\pi) + 2 \exp(-j4\pi) \right]$$

para $u = 3$, $v = 1$

$$G(3,1) = \frac{1}{4 \times 2} \left\{ G(3,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(4,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(5,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 2}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] + G(6,10) \exp \left[-j 2\pi \left(\frac{3 \times 3}{4} + \frac{1 \times 1}{2} \right) \right] \right\}$$

sendo $\exp(0) = 1$ tem-se

$$G(3,1) = \frac{1}{8} \left[5 \exp(-j\pi) + 7 \exp\left(-j\frac{5\pi}{2}\right) + 4 \exp(-j4\pi) + 2 \exp\left(-j\frac{11\pi}{2}\right) \right]$$

Na implementação computacional o termo exponencial é substituído pela fórmula de Euler e o que se tem é uma sequência em seno/co-seno. Com esta representação as expressões são compostas por uma parte real e outra imaginária. Esta substituição facilita a separação da parte real da imaginária para se obter a função ângulo de fase.

3.3 Convolução e Correlação

A convolução de duas funções $f(x)$ e $g(x)$ contínuas, denotadas por $f(x) * g(x)$, é definida pela integral:

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha) g(x-\alpha) d\alpha \quad (3.37)$$

onde α representa variável de integração.

A importância da convolução no domínio da frequência, reside no fato de que se $f(x)$ possui como transformada $F(u)$ e $g(x)$ possui como transformada $G(u)$, então $f(x) * g(x)$ tem como Transformada de Fourier $F(u)G(u)$,

$$f(x) * g(x) \Leftrightarrow F(u)G(u) \quad (3.38)$$

isto indica que a convolução no domínio espacial pode ser obtida através da Transformada Inversa do produto $F(u)G(u)$. Um resultado análogo disto é a convolução no domínio da frequência a qual se reduz a uma multiplicação no domínio espacial,

$$f(x)g(x) \Leftrightarrow F(u) * G(u) \quad (3.39)$$

As expressões (3.39) e (3.38), são normalmente referenciadas como *teorema da convolução*.

A correlação de duas funções contínuas $f(x)$ e $g(x)$, denotada por $f(x) \circ g(x)$, é definida pela seguinte relação:

$$f(x) \circ g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f^*(\alpha) g(x + \alpha) d\alpha \quad (3.40)$$

onde * representa o conjugado complexo. Para realizar a correlação, basta deslizar $g(x)$ por $f(x)$ e integrar o produto de $-\infty$ a $+\infty$, para cada valor x [11].

O teorema da correlação é dado por

$$f(x) \circ g(x) \Leftrightarrow F^*(u) G(u) \quad (3.41)$$

e

$$f^*(x) g(x) \Leftrightarrow F(u) \circ G(u) \quad (3.42)$$

Analisando este teorema, pode-se afirmar que a correlação no domínio da frequência, equivale a Transformada Inversa do resultado da multiplicação do complexo conjugado da Transformada de $f(x)$ ($F^*(u)$), pela Transformada de $g(x)$ ($G(u)$). Portanto este teorema possibilita o trabalho no domínio da frequência com a finalidade de se ter a correlação no domínio espacial.

As considerações aqui mencionadas são válidas para o caso discreto e contínuo, bi e uni-dimensional.

Não faz parte dos objetivos deste trabalho, o detalhamento matemático destes conceitos os quais podem ser encontrados em [04] e [11].

Passar-se-á agora a apresentação da metodologia da correlação espectral.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DA CORRELAÇÃO ESPECTRAL

Este capítulo versará sobre os procedimentos para a execução da correlação no domínio espectral.

4.1. Introdução

Como dito anteriormente, a correlação digital pode ser conduzida em dois domínios; o espacial e o espectral.

Em face disto, a correlação digital é classificada por BLAIS [02] da seguinte maneira:

- Domínio da Frequência
 - . Correlação Espectral
- Domínio Espacial
 - . Correlação Bi-dimensional e
 - . Correlação Epipolar.

A execução da correlação de fase se fundamenta na análise espectral das imagens envolvidas no processo, detectando assim a posição de melhor correlação. A estrutura de malha regular apresentada pela imagem digital facilita este

tipo de análise [14].

Quatro são as fases que devem ser percorridas para se obter a posição de melhor correlação.

4.2. Metodologia da Correlação Espectral

Estando a imagem no formato e ambiente digital, define-se na imagem uma janela normalmente designada por janela de referência. Como o próprio nome sugere, esta é usada como um padrão de comparação. Nela deve estar contido o objeto ou feição de referência.

Caso o trabalho seja desenvolvido sobre um estereopar e havendo interesse na reconstrução espacial, tem-se o que se chama de estereocorrelação e algumas condições geométricas devem ser satisfeitas. O próximo passo será definir numa outra imagem, uma segunda janela denominada janela de pesquisa. Esta janela deve conter o objeto ou feição que se deseja confrontar. Tal confrontação é feita no sentido de identificar se os objetos ou feições que estão contidos nas janelas selecionada são homólogos ou não.

Devido a metodologia matemática utilizada neste trabalho, as dimensões da janela de pesquisa devem ser iguais as dimensões da janela de referência. Porém o uso da convolução ou correlação, citadas no capítulo 3, permite o uso de janelas

de pesquisa com dimensões maiores que as da janela de referência.

Outro aspecto importante é o número de elementos amostrados contidos nas duas janelas, lembrando que a única restrição ao uso das Transformadas de Fourier é quanto a este número o qual deve ser potência de dois. Isto limita o tamanho das janelas a $2^i \times 2^i$ pixels, onde i é um inteiro.

Quando se trabalha sobre apenas uma imagem e não há necessidade da reconstrução espacial, tem-se a chamada correlação e no passo seguinte define-se na mesma imagem a janela de pesquisa contendo o objeto que se deseja confrontar.

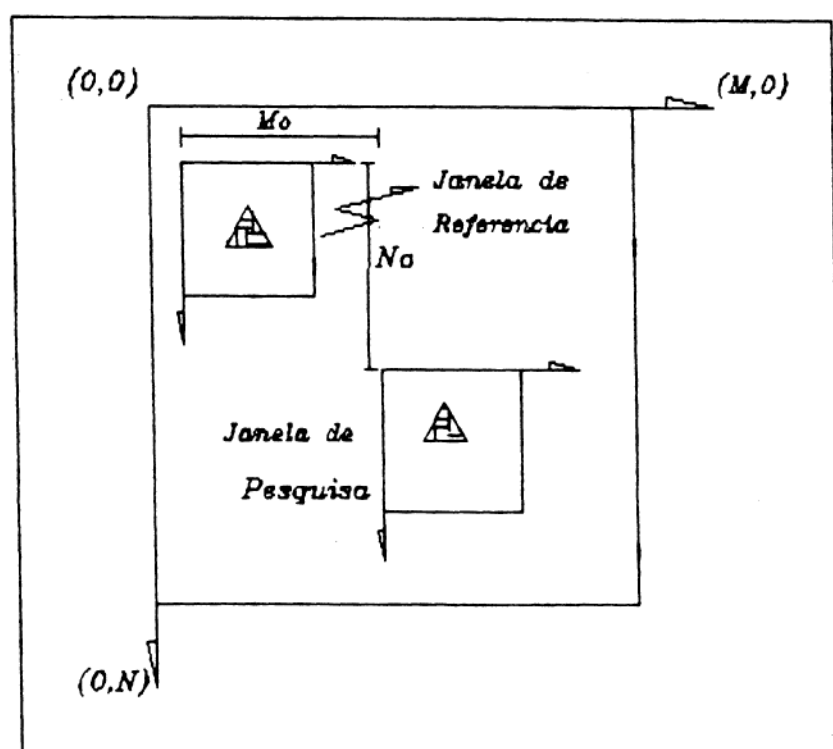


Figura 4.1 - ESQUEMA DA CORRELACAO.

Vale a pena ressaltar que os cuidados com as dimensões das janelas devem ser observados, note que estas são iguais.

Estando as duas janelas selecionadas, basta aplicar a elas a teoria matemática apresentada no capítulo 3.

4.2.1. Etapas da Correlação espectral

A aplicação da teoria exposta no capítulo 3 se dá segundo BLAIS [02] em quatro etapas;

Etapa 01

Nesta etapa determina-se a *Transformada de Fourier* das funções $G_r(x,y)$ e $G_p(x,y)$ as quais representam respectivamente, as funções de tons de cinza da janela de referência e pesquisa. Usa-se aqui a forma exponencial para expressar a transformada,

$$G_r(u,v) = |G_r(u,v)| e^{j \Phi_r(u,v)} \quad (4.1)$$

$$G_p(u,v) = |G_p(u,v)| e^{j \Phi_p(u,v)} \quad (4.2)$$

onde $G_r(u,v)$ e $G_p(u,v)$ vem a ser, a correspondência analítica da função $G_r(x,y)$ e $G_p(x,y)$ no domínio da frequência, ou seja, a Transformada de Fourier. As funções $\Phi_r(u,v)$ e $\Phi_p(u,v)$ são, respectivamente, as funções ângulo de fase da janela de referência e pesquisa as quais são dadas pelas seguintes

expressões:

$$\Phi_r(u,v) = \tan^{-1} \left[\frac{I_r(u,v)}{R_r(u,v)} \right] \quad (4.3)$$

$$\Phi_p(u,v) = \tan^{-1} \left[\frac{I_p(u,v)}{R_p(u,v)} \right] \quad (4.4)$$

onde $I_r(u,v)$ e $I_p(u,v)$ representam a parte imaginária das Transformadas de Fourier $G_r(u,v)$ e $G_p(u,v)$. As funções $R_r(u,v)$ e $R_p(u,v)$ são respectivamente a parte real das transformadas acima mencionadas.

Etapa 02

Nesta fase calcula-se para cada componente da frequência espacial, ou seja para cada *pixel* contido nas janelas de referência e pesquisa, a diferença entre as funções ângulo de fase da janela de referência $\Phi_r(u,v)$ e a da janela de pesquisa $\Phi_p(u,v)$

$$DF_i(u,v) = \Phi_i^r(u,v) - \Phi_i^p(u,v), \quad i=(1,2,\dots,k) \quad (4.5)$$

onde k representa o número de *pixels* contidos na janela de referência e $DF_i(u,v)$ vem a ser a função diferença de fase.

Etapa 03

Na etapa 03 calcula-se a Transformada Inversa de Fourier para a função diferença de fase $DF_i(u,v)$

$$d = F^{-1} \left\{ \exp \left[j \sum DF_i(u,v) \right] \right\} \quad (4.6)$$

Etapa 04

Na quarta e última etapa do processo de correlação espectral, faz-se a localização do valor de pico da função $DF_i(x,y)$ a qual vem a ser a representação analítica no domínio espacial da função diferença de fase.

A posição na qual se encontra o maior valor da função $DF_i(x,y)$, ou seja, o pico, indica o deslocamento relativo existente entre as duas janelas.

Uma análise superficial da expressão (4.5), indica que quando $DF_i(u,v)$ for mínimo as duas funções em questão apresentam a menor diferença de fase. Assim sendo, pode-se supor que neste caso as funções possuem comportamento mais semelhante. Baseado nisto pode-se, a princípio, dizer que no domínio da frequência a posição de melhor correlação é aquela onde $DF_i(u,v)$ é mínimo. Tal suposição foi testada com experimentos, os quais se encontram no capítulo 5.

Resumindo teremos;

quando $DF_i(x,y) = \text{Max.} \Rightarrow$ Melhor Correlação no domínio espacial.

BLAIS [02], apresenta as seguintes relações com respeito ao deslocamento relativo existente entre as duas janelas; aumento do deslocamento \Rightarrow diminuição do tamanho do pico \Rightarrow aumento do ruído. Nestas condições o valor de pico tende a se igualar ao ruído e o mesmo passa a ser um indicador questionável da posição de melhor correlação.

A metodologia descrita neste capítulo equivale a primeira etapa da correlação, pois analisando as propriedades da Transformada de Fourier conclui-se que os ruídos, citados no capítulo 2, existentes nas imagens não são modelados pelas expressões das transformadas.

Desta maneira, as diferenças geométricas e radiométricas existentes nas duas janelas não são compensadas pela aplicação da FFT. Tais diferenças existentes no domínio espacial, se conservam durante a transformação e se apresentam no domínio espectral, conforme assegura as propriedades 2 e 4, podendo afetar os resultados.

No caso da autocorrelação não há diferenças geométricas e radiométricas entre as janelas, pois em ambas as janelas tem-se a mesma cena que se apresenta com um deslocamento. A forma de aquisição da janela na autocorrelação pode ser melhor entendida observando a figura abaixo;

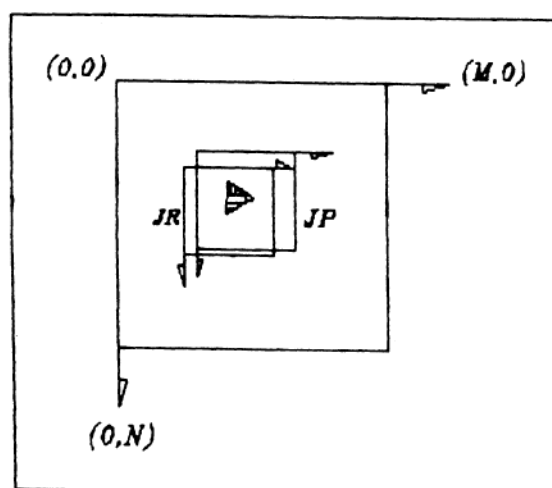


Figura 4.3 - ESQUEMA DA AUTOCORRELACAO

Isto não quer dizer que tais diferenças não existam. Os efeitos destas é que são iguais nas duas janelas. Como dito anteriormente as funções diferem apenas por um deslocamento.

Os ruídos que atingem as janelas envolvidas no processo de correlação representado pela figura 4.1, numa primeira análise, são considerados iguais. EHLERS [07], os designa como "white noise". Não se deve esquecer as diferenças geométricas provocadas pela posição do c.p. em relação a cada alvo contido na imagem. Isto pode ser melhor observado na figura abaixo

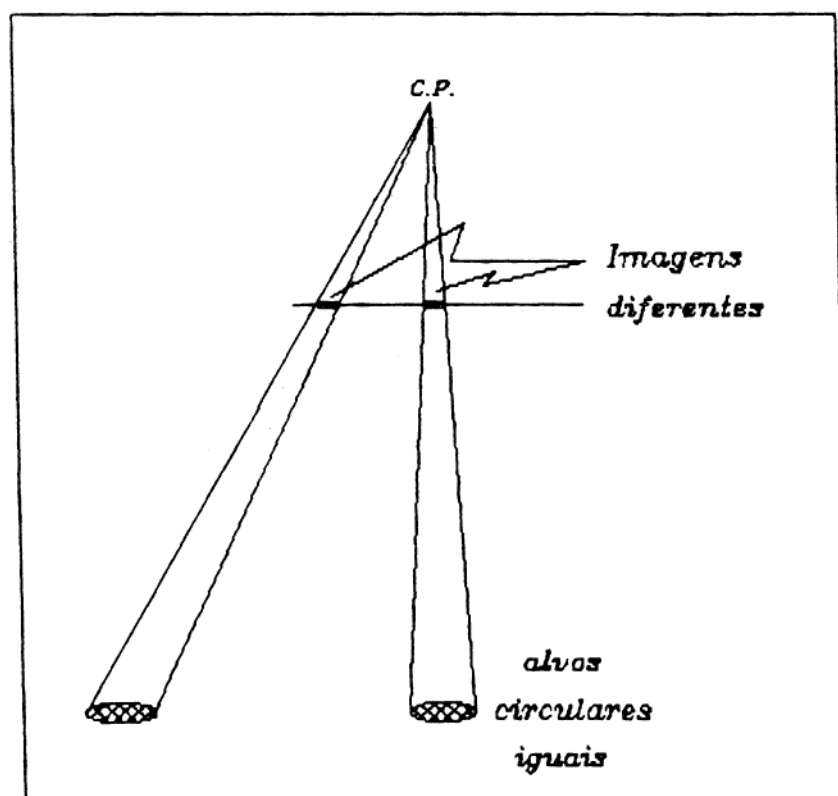


Figura 4.3 - POSICAO DO C. P. EM RELACAO AOS ALVOS.

É possível observar que as imagens aparecem

diferentes, apesar de representarem alvos iguais. Esta diferença na forma das imagens a serem correlacionadas, acaba por afetar os resultados obtidos com a correlação.

A exemplo do domínio espacial, nesta etapa não existe o ajustamento, pois trata-se de funções matemáticas que apresentam correspondência bi-unívoca, ou seja, para cada posição (x,y) no domínio espacial corresponde um único par (u,v) da Transformada.

Os testes e os resultados obtidos com a aplicação desta técnica serão descritos no capítulo 5.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Este capítulo apresenta os experimentos realizados, algoritmos e os resultados obtidos.

5.1 Introdução

Tendo com objetivo principal a avaliação do método da correlação espectral, no que diz respeito a capacidade de identificar "pontos" ou feições semelhantes contidas em janelas distintas da mesma imagem, alguns testes foram realizados.

No primeiro deles, o método proposto por BLAIS [02], com algumas adaptações foi testado, sendo que as janelas foram selecionadas de modo que os alvos ocupassem a posição central. Os resultados obtidos com o processamento destas, foram comparados com os resultados obtidos pelo método descrito por WONG & HO [28]. O segundo teste, também teve por objetivo testar as adaptações aplicadas ao método, porém com os alvos dispostos em posições não centrais dentro das janelas. No terceiro teste foi feita uma inversão nos dados de entrada do teste 01 no sentido de investigar a veracidade de tais

adaptações. Deste modo a janela de referência passou a ser de pesquisa e vice-versa. No quarto teste foi verificada a hipótese levantada no capítulo anterior, ou seja posição da mínima diferença de fase como indicador de melhor correlação. No quinto e último teste, foi empregada a metodologia descrita no capítulo 4 sem adaptações.

5.2 Materiais

O material aqui descrito refere-se aos equipamentos utilizados para o desenvolvimento do software da correlação de fase e sua execução;

- . microcomputador PC/AT - 386 Sx com winchester de 80 Mbytes e monitor monocromático super VGA,
- . microcomputador PC/AT - 486 Sx com winchester de 160 Mbytes e monitor monocromático super VGA.

Especificação da Imagem

⇒ Descrição

Imagem obtida de um campo de teste para calibração da câmera CCD da UNICAMP, tal imagem é composta por alvos circulares uniformemente distribuídos ao longo de linhas e colunas.

⇒ Tamanho da Imagem

512 linhas x 400 colunas

⇒ Tamanho do pixel no sensor (CCD)

10 μ m x 10 μ m

Para a execução do processo de correlação faz-se necessário um sistema correlator. Uma das funções de tal sistema é selecionar as janelas a serem correlacionadas.

Quando da idealização deste trabalho, previa-se a utilização de equipamentos e softwares existentes no Laboratório de Fotogrametria Digital da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com a finalidade de selecionar as janelas a serem correlacionadas e comparar os resultados obtidos na correlação espectral com os obtidos pela correlação espacial.

Em função da indisponibilidade de tais equipamentos, não foi possível a sua utilização e nem tão pouco a comparação com o domínio espacial. Em face disto a seleção das janelas a serem processadas na correlação de fase, foi feita utilizando um software desenvolvido por Maurício Galo, o qual permite a seleção das janelas e sua gravação em um arquivo separado, permitindo a posterior realização da correlação de fase.

5.3 Descrição dos Experimentos

Em toda a bibliografia consultada apenas BLAIS [02], descreve de maneira resumida as etapas que devem ser percorridas para chegar aos resultados finais da correlação espectral, utilizando as janelas de referência e pesquisa.

TSENG & SCHENK [26], usaram o domínio espectral para

efetuar o *matching* entre linhas, as quais podem ser abertas ou fechadas, sem trabalhar com janelas e tendo a linha a ser correlacionada aproximadamente identificada.

No presente trabalho, a correlação de fase foi efetuada seguindo a metodologia apresentada por BLAIS [02], descrita no capítulo 4 com algumas adaptações.

Tais adaptações, dizem respeito a aplicação do *thresholding* e a utilização da hipótese da posição de mínima diferença fase ser o indicador da melhor correlação. A primeira adaptação teve por objetivo binarizar a imagem e melhorar a visualização da região onde o alvo esta contido, com a segunda adaptação os resultados obtidos permanecem no domínio espectral o que implica na não execução das etapas 3 e 4 descritas no capítulo 4.

A metodologia empregada para a execução do *thresholding* é aquela descrita por WONG & HO [28]. O valor do limiar T é calculado usando a seguinte expressão:

$$T = ((MAX + MIN)/2) + 0.99 \quad (5.1)$$

sendo que MAX representa o máximo valor de brilho contido na janela a ser binarizada e MIN o mínimo valor contido na mesma janela. No caso da diferença de fase, estes valores representam a máxima e a mínima diferença de fase, respectivamente.

Com o valor de T faz-se um teste em toda a janela.

Aquelas posições que apresentarem valor menor ou igual a T assumem valor 1, as demais são zeradas. Com isto a matriz diferença de fase passa a ser binarizada e sob tal matriz, calcula-se as coordenadas do "centro de massa", utilizando-se para isto as seguintes expressões:

$$X = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j G_{ij} \quad (5.2)$$

$$Y = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N i G_{ij} \quad (5.3)$$

onde i representa linhas, j representa colunas, G_{ij} o valor de brilho⁽⁶⁾ e M a soma de todos os valores das posições não nulas da matriz binarizada

No domínio espacial o uso de tal metodologia faz com que a região onde se encontra o alvo seja composta apenas de valores unitários, e as demais posições se apresentam zeradas. Isto melhora a visualização do alvo e faz com que apenas as posições ocupadas pelo alvo participem do cálculo das coordenadas do centro de massa.

Desta maneira pode-se dizer que tais coordenadas representam a média ponderada das posições não nulas, sendo o peso a própria posição dos pixels ocupada dentro da janela.

⁽⁶⁾ No domínio espectral o valor de brilho é substituído pela diferença de fase.

Já no domínio espectral isto não se verifica quando se trabalha com a diferença de fase, nota-se na matriz binarizada uma predominância de elementos unitários na região do ponto, porém há posições unitárias fora do alvo.

5.3.1 Programas Desenvolvidos

Para execução da correlação de fase considerando as adaptações sofridas pelo método descritas acima, foi elaborado um programa em linguagem FORTRAN 77, chamado CORFAS, o qual realiza as seguintes tarefas:

- . lê a janela referência armazenada no whinchester;
- . transfere cada linha desta matriz para um vetor, zerando a posição imaginária;
- . verifica se o número de elementos contidos no vetor é potência de dois;
- . este vetor é argumento de entrada de uma sub-rotina que efetua a FFT uni-dimensional⁽⁷⁾;
- . os valores que retornam da sub-rotina são armazenados em uma matriz auxiliar.

Estes procedimentos são repetidos até que se esgote a matriz referência e a matriz auxiliar esteja completa. Em

(7) Afim de obter a Transformada bi-dimensional, usou-se a técnica da "dobragem sucessiva".

seguida:

- . duas a duas as colunas da matriz auxiliar, são vetorizadas e são, novamente, os argumentos de entrada da sub-rotina FFT, assim procedendo até que se esgote a matriz auxiliar.

Ao final deste procedimento tem-se a matriz referência no domínio espectral a qual é armazenada em TRANSR.

Todo o procedimento descrito acima é repetido para a janela de pesquisa, a qual é armazenada (no domínio espectral) em TRANSP.

As funções seguintes são ;

- . calcular a função ângulo de fase para cada posição das matrizes TRANSR e TRANSP, sendo tais funções guardadas nas matrizes FASER e FASEP respectivamente;
- . calcular a diferença de fase para cada posição e armazená-la na matriz DIFFA;
- . calcular o máximo e o mínimo valor contidos nesta matriz;
- . usando tais valores calcular o limiar;
- . binarizar a matriz diferença de fase e calcular as coordenadas do centro de massa as quais indicam a posição onde há uma maior semelhança entre os dois sinais representados no domínio espectral.

Tem-se abaixo o fluxograma de tal software:

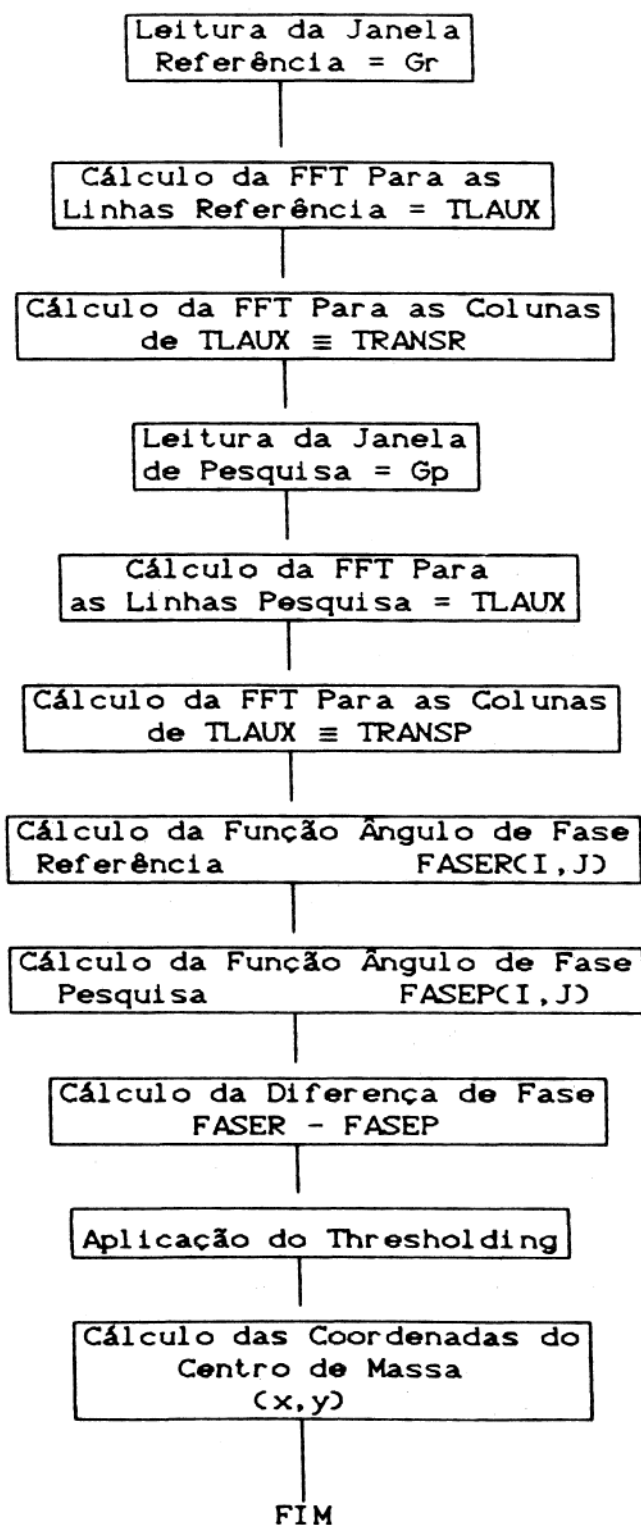


Figura 5.1 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA CORFAS.

O segundo programa (ESP), elaborado em linguagem FORTRAN 77, calcula as coordenadas do centro de massa das janelas de referência e pesquisa no domínio espacial.

Apresenta-se abaixo o fluxograma deste programa:

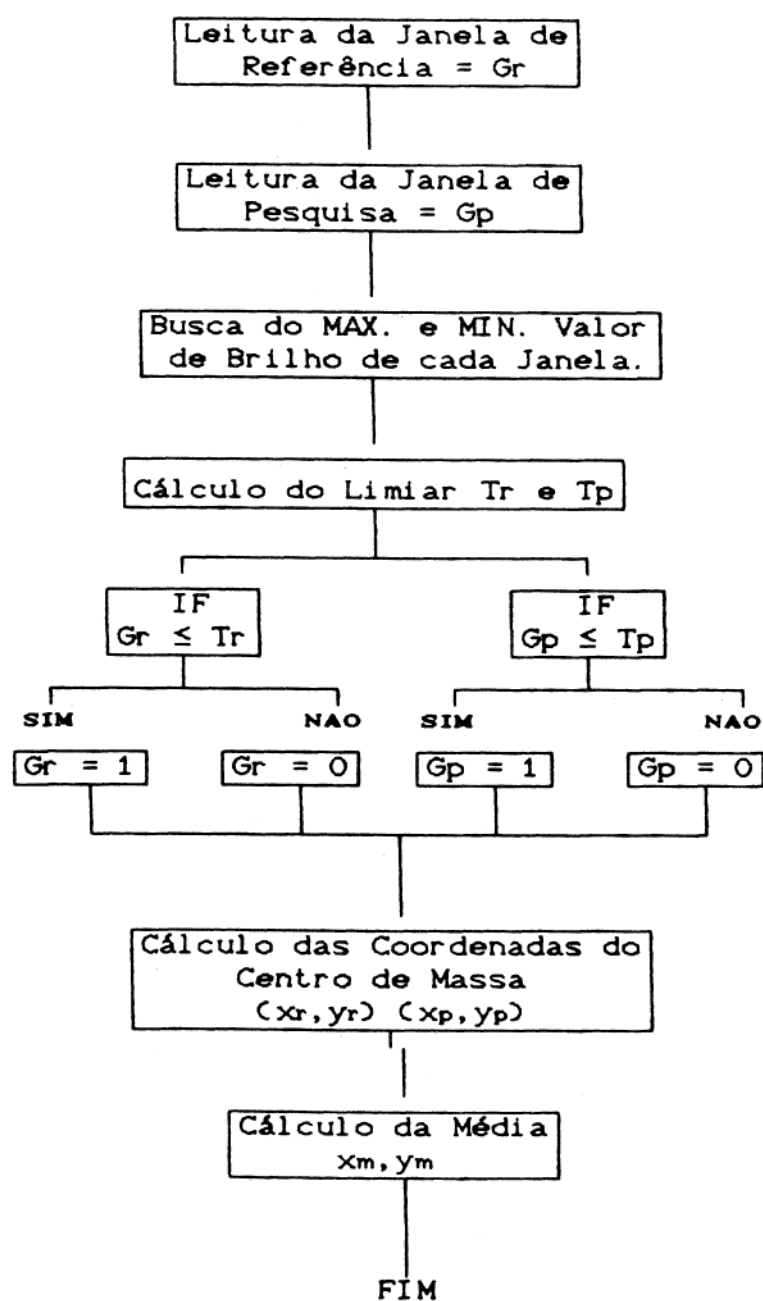


Figura 5.2 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA ESP.

O terceiro programa elaborado foi o CORBLAIS, desenvolvido em linguagem FORTRAN 77, tal programa executa a correlação de fase até a etapa 2, seguindo a metodologia descrita por BLAIS [02]. Tal programa foi elaborado com o objetivo de verificar se a hipótese feita no capítulo 4, se

verificava ou não. Segue abaixo o fluxograma

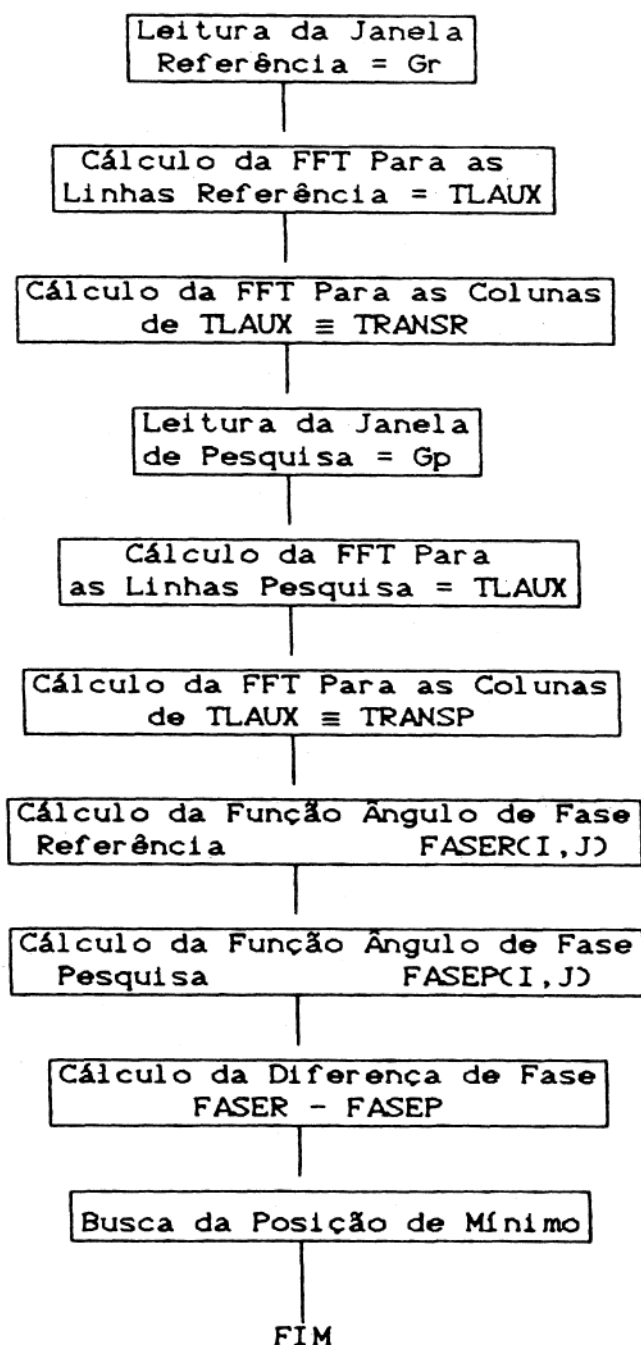


Figura 5.3 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA CORBLAIS.

No sentido de verificar a metodologia proposta por BLAIS [02], na sua íntegra, dois programas foram desenvolvidos. O primeiro deles é o FFT2D, desenvolvido em linguagem FORTRAN

77, sua função é a de realizar a Transformada bi-dimensional de maneira direta e inversa, sem usar a técnica da dobragem sucessiva. O segundo programa desenvolvido foi o DIFFASE, sua função é calcular a diferença de fase e preparar o arquivo para retornar ao programa FFT2D, fazendo agora a Transformada Inversa. Assim sendo, foi possível percorrer as quatro etapas descritas no capítulo 4.

5.3.2 Coleta de Dados e Processamento

Com a finalidade de testar a correlação espectral sob os vários aspectos citados anteriormente, construiu-se uma imagem (Anexo I), a qual deveria ser digitalizada no Laboratório de Fotogrametria Digital da UFPr. Como a câmera estava inoperante a opção foi enviar a imagem para UNICAMP afim de que esta fosse digitalizada no formato necessário, porém devido a problemas no processo de leitura da imagem e no tamanho da mesma não foi possível a sua utilização.

Em face disto, as imagens utilizadas para os testes foram as mesmas utilizadas por TOMMASELLI [23], na calibração da câmera digital CCD da UNICAMP. Cinco são as imagens que estão disponíveis, porém apenas uma foi usada neste trabalho.

A imagem escolhida foi a CAL2.TGA, a qual foi especificada anteriormente e possui o seguinte aspecto

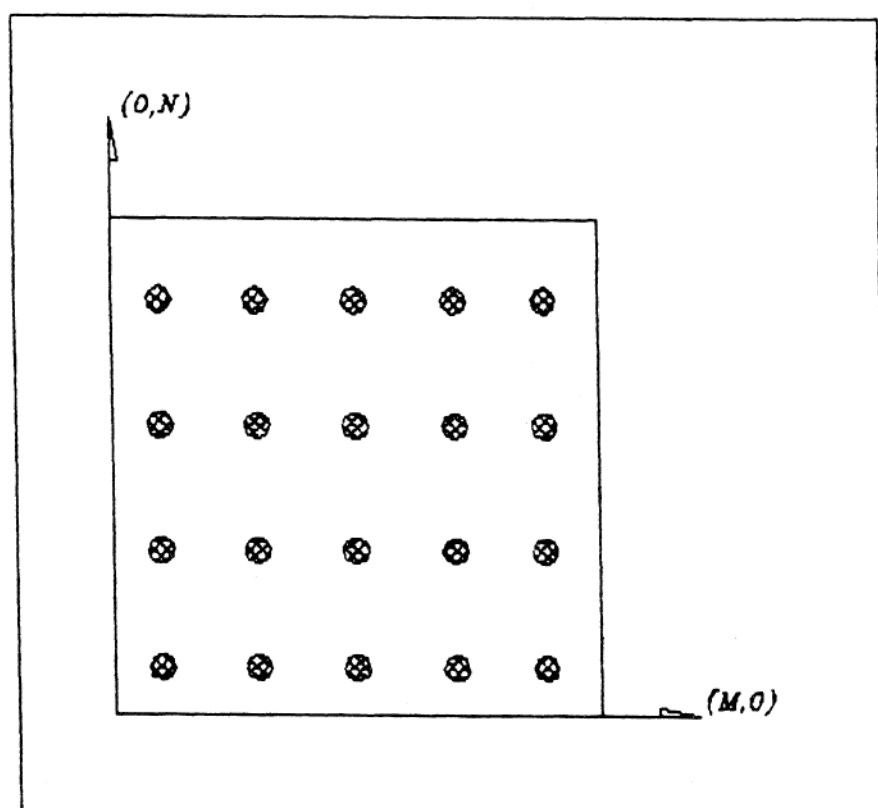


Figura 5.4 - DISPOSICAO DOS ALVOS NA IMAGEM CAL2.TGA .

sendo a origem no canto inferior esquerdo como pode ser observado.

O programa utilizado para seleção das janelas P10VGA, foi desenvolvido em linguagem C pelo Prof. MSc. Maurício Galo como parte do seu plano trienal de pesquisa para a Universidade Estadual Paulista - UNESP.

Tal programa considera a origem como sendo o canto superior esquerdo. Como um dos objetivos do trabalho é verificar a capacidade da correlação espectral em detectar "pontos" ou feições semelhantes contidas dentro das janelas, usou-se o sistema de coordenadas por elas definido, ou seja as

coordenadas obtidas do centro de massa são com referência a este sistema, sendo a origem considerada no canto superior esquerdo. A figura abaixo ilustra melhor tais considerações

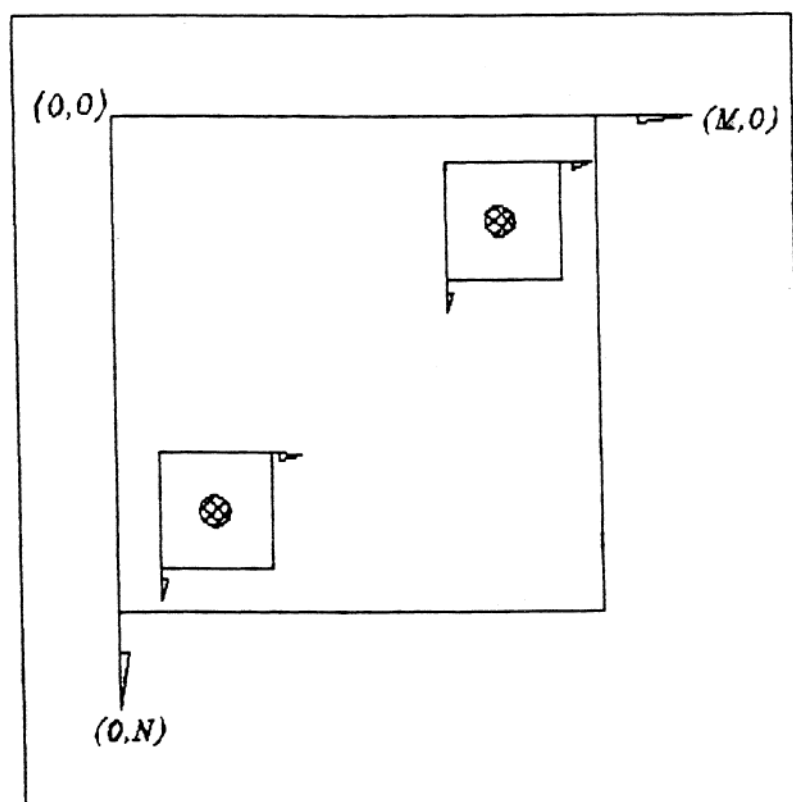


Figura 5.5 - SISTEMAS DE COORDENADAS.

Utilizando o programa P10VGA, fez-se a seleção das janelas a serem correlacionadas. A figura abaixo mostra a disposição das janelas selecionadas

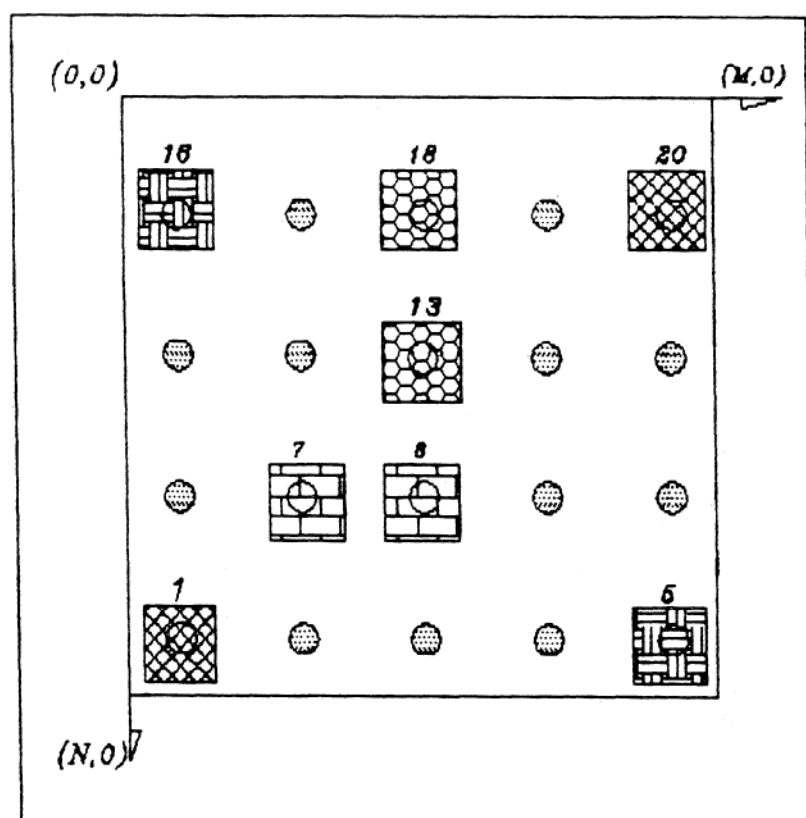


Figura 5.6 - DISPOSIÇÃO DAS JANELAS ESCOLHIDAS

Considerando a numeração dos pontos mostrados na figura 5.6, define-se os pares de janelas conforme tabela abaixo;

J.R.	J.P.	DIMENSÃO
1	20	16X16 e 32X32
8	7	16X16 e 32X32
18	13	16X16 e 32X32
16	5	16X16 e 32X32

Tabela 5.1. - NÚMERO DOS PONTOS E DIMENSÕES DAS JANELAS.

Para a realização do teste 01, as janelas foram

coletadas fazendo a pontaria na região central do alvo e procurando posicioná-lo no centro das janelas (Anexo II). Tais janelas foram processadas pelos programas CORFAS e ESP. Os resultados de ambos foram tabelados e calculou-se as discrepâncias entre um e outro.

TESTE 01							
N. P.	DIM.	COORD. C. M. NO DOM. ESPACIAL		COORD. C. M. NO DOM. ESPECTRAL		DISCREPANCIA (pixel)	
		y	x	y	x	Δy	Δx
1,20	16X16	08,593	08,333	09,415	08,046	-0,822	0,287
	32X32	19,103	16,422	17,685	16,175	1,418	0,247
8,7	16X16	08,038	08,433	08,954	07,862	-0,916	0,571
	32X32	16,526	15,391	16,599	16,992	-0,073	-1,601
18,13	16x16	07,977	08,081	08,446	07,415	-0,469	0,666
	32x32	15,977	15,581	15,907	15,607	0,070	-0,026
16,5	16x16	07,783	08,231	08,169	07,631	-0,386	-0,600
	32x32	15,263	15,715	16,272	15,732	-1,009	-0,016

Tabela 5.2 - RESULTADOS DO TESTE 01.

As coordenadas do centro de massa no domínio espacial são obtidas através da média entre os valores das coordenadas do centro de massa da janela de referência e pesquisa.

Analisando a tabela 5.2 vê-se que as discrepâncias acima de 1 pixel se encontram nas janelas de dimensões 32 x 32 pixels.

Na realização do teste 02, as janelas foram coletadas sem o posicionamento do alvo na região central da janela e ao mesmo tempo procurando colocá-los em posições diferentes dentro das janelas (Anexo III), a exemplo do teste 01, tais janelas

foram processadas pelos programas CORFAS e ESP. Os resultados obtidos encontram-se na tabela abaixo

TESTE 02						
N. P.	DIM.	COORD. C. M. NO DOM. ESPACIAL		COORD. C. M. NO DOM. ESPECTRAL		DISCREPANCIA (pixel)
		y	x	y	x	Δy Δx
1,20	16X16	05,093	07,833	08,862	08,308	-3,769 -0,475
	32X32	20,276	16,895	16,444	17,078	3,832 -0,183
8,7	16X16	08,038	03,978	————	————	———— ————
	32X32	12,026	13,891	16,798	16,957	-4,772 -3,066
18,13	16x16	06,977	07,081	08,231	09,046	-1,254 -1,965
	32x32	15,977	15,581	16,576	16,393	-0,599 -0,812
16,5	16x16	11,283	08,731	09,077	09,169	2,206 -0,438
	32x32	13,263	12,215	16,883	16,817	-3,620 -4,602

Tabela 5.3 - RESULTADOS DO TESTE 02.

A análise da tabela 5.3, revela discrepâncias altas principalmente na direção y, analisando os resultados intermediários observa-se que estes também não são satisfatórios. As coordenadas dos centros de massa da janela de referência e pesquisa no domínio espacial, apresentam diferenças significativas entre si dado ao posicionamento diferente do alvo dentro das janelas. Quando se calcula a média entre os valores, esta passa a ter um valor que não revela a posição aproximada do centro de massa.

Os resultados usando o *thresholding* no domínio espectral, também não se apresentam de maneira satisfatória, os mesmos indicam a região central da janela como a de melhor correlação, porém uma simples análise visual do Anexo III, revela que tal posição não corresponde a verdadeira.

A análise da matriz diferença de fase binarizada, revela um padrão totalmente diferente daquele apresentado pelas matrizes no domínio espacial. No domínio espectral muitas posições dentro janela e fora do alvo, satisfazem a condição de binarização, assim sendo não só a posição do alvo recebe valor unitário como também outras posições.

O cálculo das coordenadas do centro de massa é feito levando em consideração apenas as posições não nulas. No domínio espacial estas posições correspondem apenas ao alvo, o mesmo não acontece no domínio espectral onde se tem as coordenadas do centro de massa representando a média ponderada de todas as posições não nulas da matriz diferença de fase.

A janela que contém os pontos 8 e 7 de dimensões 16×16 pixels, não pode ser processada no domínio espectral, pois teve-se uma indefinição matemática ($0/0$) no cálculo da função ângulo de fase.

Os testes foram realizados considerando a correlação, ou seja as janelas foram tomadas sobre a mesma imagem e não houve interesse na reconstrução espacial. Em face disto, no teste 03 fez-se a inversão dos arquivos de entrada do teste 01, desta maneira a pesquisa passou a ser referência e a referência passou a ser pesquisa.

No cálculo do centro de massa no domínio espacial, tal inversão não altera os resultados, pois tais coordenadas são calculadas separadamente e no final extrai-se a média. Já no

domínio espectral espera-se uma alteração dos resultados visto se trabalhar com a diferença de fase entre as duas janelas, as quais foram processadas pelos programas obtendo os seguintes resultados:

TESTE 03						
N. P.	DIM.	COORD. C. M. NO DOM. ESPACIAL		COORD. C. M. NO DOM. ESPECTRAL		DISCREPANCIA (pixel)
		x	y	x	y	Δx Δy
20,1	16X16	08,593	08,333	07,477	08,846	1,116 -0,513
	32X32	19,103	16,422	15,250	16,767	3,853 -0,345
7,8	16X16	08,038	08,433	07,938	09,031	0,100 -0,598
	32X32	16,526	15,391	16,342	15,949	0,184 -0,558
13,18	16X16	07,977	08,081	08,446	09,477	-0,469 -1,396
	32X32	15,977	15,581	17,035	17,355	-1,058 -1,774
5,16	16X16	07,783	08,231	08,723	09,262	-0,940 -1,031
	32X32	15,263	15,715	16,669	17,210	-1,406 -1,495

Tabela 5.4 - RESULTADOS DO TESTE 03.

As alterações esperadas nos resultados, não deveriam ser tão significativas pois a informação contida nas janelas é a mesma inclusive quanto a posição. Esperava-se resultados mais próximos daqueles encontrados no teste 01. Analisando as discrepâncias entre os dois domínios nos testes 01 e 03, nota-se melhores resultados, ou seja, discrepâncias menores no teste 01, onde a grande maioria se encontra com valor inferior a 1 pixel. Tal fato indica que a inversão das janelas a priori estabelecidas não melhorou os resultados, em algumas situações até piorou.

Analisando a matriz diferença de fase em ambos os casos, nota-se que há uma inversão de sinais. Isto altera o

valor do limiar T , e quando da binarização pode provocar o aparecimento de um número maior ou menor de posições não nulas e isto pode modificar o resultado final.

O quarto teste foi efetuado com os dados do teste 01, porém utilizando para o processamento dos mesmos o programa CORBLAIS. Os resultados obtidos encontram-se no Anexo IV.

Como pode ser observado, os valores encontrados considerando a posição de melhor correlação como sendo aquela indicada pela mínima diferença de fase, são bem diferentes daqueles encontrados com o emprego da outra metodologia onde se usa o *thresholding*.

Uma possível explicação para tal fato, pode residir no aspecto da imagem utilizada, a qual possui fundo branco e os alvos pretos. Uma simples verificação do Anexo II revela que a região que se apresenta fora do alvo nas duas janelas, possui valores mais próximos do que aquelas que compõe os alvos, assim sendo a região em branco pode ser encarada como sendo aquela que apresenta melhor correlação dentro das janelas, isto é, tal região foi interpretada como sendo a região homóloga.

Talves o uso de imagens que se apresentem com aspecto diferente possa melhorar os resultados obtidos.

De modo geral os resultados obtidos com estes testes, não indicaram que as adaptações aplicadas ao método proposto por BLAIS [02] são eficientes. Os resultados obtidos não

permitem afirmar que tais adaptações são válidas.

O quinto e último teste, foi realizado seguindo a metodologia proposta por BLAIS [02] passo a passo. Afim de se ter padrões de checagem, utilizou-se os dados obtidos com o programa ESP para os dados do teste 01. Os resultados obtidos encontram-se na tabela abaixo;

	DOMINÍNIO ESPACIAL - WONG				SHIFT REL.		POS. DO PICO	
	CODXR	CODYR	CODXP	CODYP	L	C	L	C
01,20	08,68	07,66	08,50	09,00	0	1	0	1
	18,70	15,84	16,50	17,00	2	1	1	1
08,07	08,07	08,20	08,00	08,06	0	0	1	4
	18,07	14,20	16,97	16,58	0	2	6	2
18,13	07,88	07,88	08,06	08,27	0	0	1	12
	15,88	14,88	16,06	16,28	0	1	2	2
16,05	07,56	07,96	08,00	08,50	0	0	2	3
	14,52	15,93	16,00	15,50	1	0	2	5

Tabela 5.5 - RESULTADOS CONSIDERANDO A METODOLOGIA DESCRITA POR BLAIS.

Analisando a tabela 5.5, observa-se que em poucas situações a teoria se verifica. Na maioria dos casos as discrepâncias entre o deslocamento relativo obtido com o procedimento descrito por WONG & HO [28] e a posição de pico obtida com o método descrito no capítulo 4 fica acima de 1 pixel. Vale a pena lembrar que estas janelas foram adquiridas com os alvos ocupando a posição central dentro das janelas e isto pode ser verificado pelos valores encontrados para o

deslocamento relativo, os quais são bem pequenos. Em face disto, esperava-se encontrar valores mais condizentes com a teoria.

Há dois tipos de erros que são inerentes ao uso das Transformadas de Fourier, *leakage* e *wraparound*. Sem grande detalhamento pode-se dizer que o *leakage* está ligado com o processo de discretização da função contínua e pode ser minimizado no domínio da frequência com a escolha adequada da função de truncagem [04]. O *wraparound* está ligado com a superposição dos períodos da Transformada, no caso da correlação de imagens surge quando se trabalha com janelas de tamanhos diferentes [11].

Nos programas desenvolvidos não foram implementados algoritmos de minimização destes erros, o que pode explicar a não obtenção de resultados melhores no teste 5.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões finais do trabalho bem como recomendações para futuros experimentos.

6.1 Considerações Finais

Baseado nos objetivos apriori estabelecidos, pode-se dizer que os mesmos foram cumpridos em sua totalidade. Apresentou-se: a revisão bibliográfica da correlação digital no domínio espacial realizada de maneira bi e uni-dimensional; as Transformadas de Fourier juntamente com seus aspectos de funcionamento e suas propriedades; a metodologia de execução da correlação espectral sem o uso dos teoremas da convolução e da correlação e finalmente os testes de tal metodologia.

Fundamentadas nos resultados obtidos com os testes, algumas conclusões são apresentadas a seguir.

6.2 Conclusões

Pode-se dizer que os objetivos iniciais do trabalho, foram cumpridos, apesar dos resultados encontrados e das inúmeras possibilidades de investigação que poderiam e podem ser realizadas.

A análise das discrepâncias calculadas, revela que os resultados menos discrepantes foram aqueles obtidos no teste 01, onde a aquisição das janelas foi conduzida de forma a se ter o alvo posicionado no centro das mesmas, como era de se esperar.

Os teste 02 e 03, possibilitam afirmar que as adaptações aplicadas ao método descrito no capítulo 4 não são eficazes. As explicações fornecidas para os resultados encontrados também colaboram para esta afirmação. Mesmo os resultados obtidos no teste 01, não permitem indicar tais adaptações como satisfatórias, pois as condições de aquisição das janelas são restritas (alvo no centro da janela) o que torna tais adaptações desaconselháveis.

Em termos de tempo de processamento, os resultados são satisfatórios. Para um PC/AT - 486 SX, nas janelas de dimensão 16 x 16 pixels o tempo de processamento foi inferior a 1 seg., nas janelas de dimensão 32 x 32 pixels o tempo de processamento foi da ordem de 1 seg.

Quanto a metodologia proposta no capítulo 4, os testes

realizados não indicaram a sua real eficiência quando se utilizou as imagens sem nenhum tipo de tratamento prévio. Este tratamento é indicado para a maioria dos casos, afim se evitar problemas como o *leakeage* e o *wraparound* [02]. Para uma melhor exploração do método algumas recomendações são feitas a seguir.

6.3 Recomendações

Tendo em vista a exploração das potencialidades da correlação espectral, recomenda-se:

- a realização de mais teste com vistas a se detalhar a metodologia proposta por BLAIS [02];

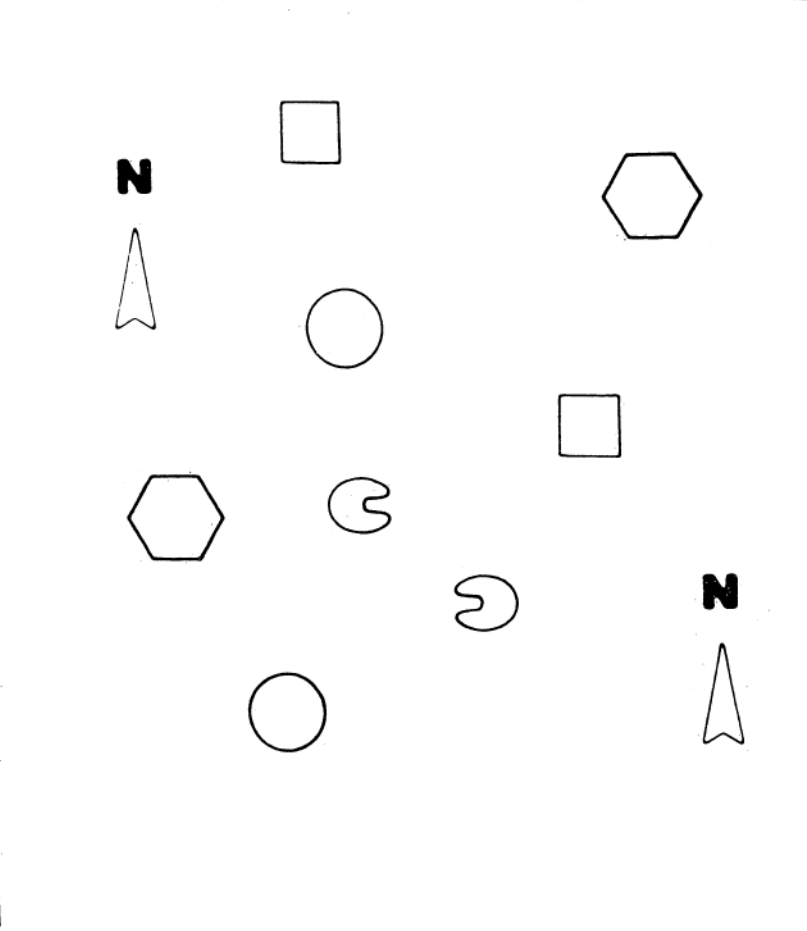
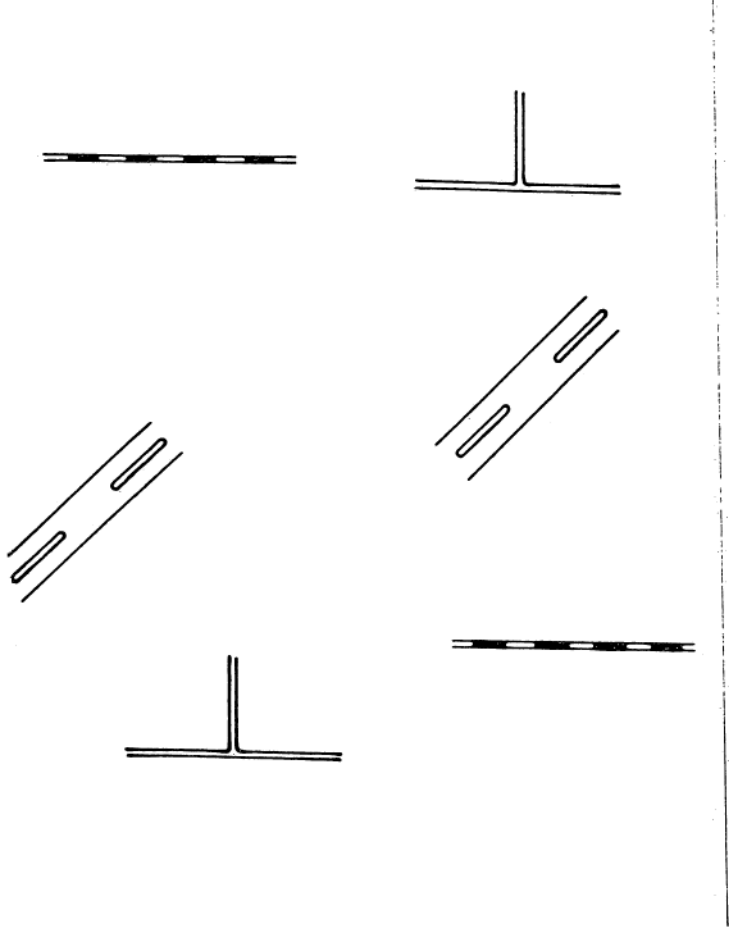
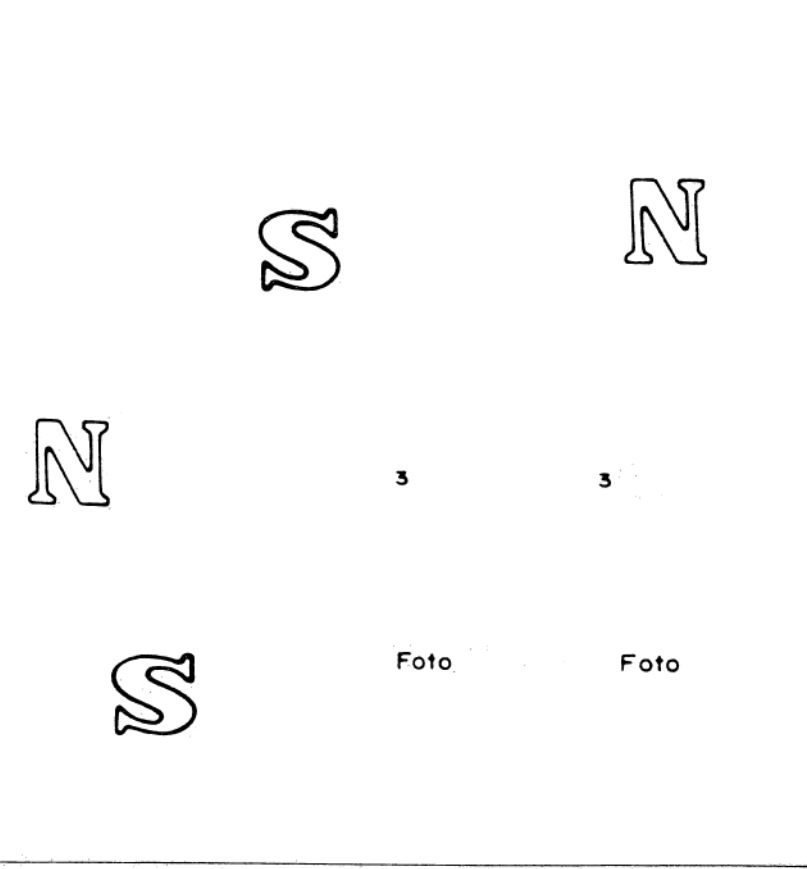
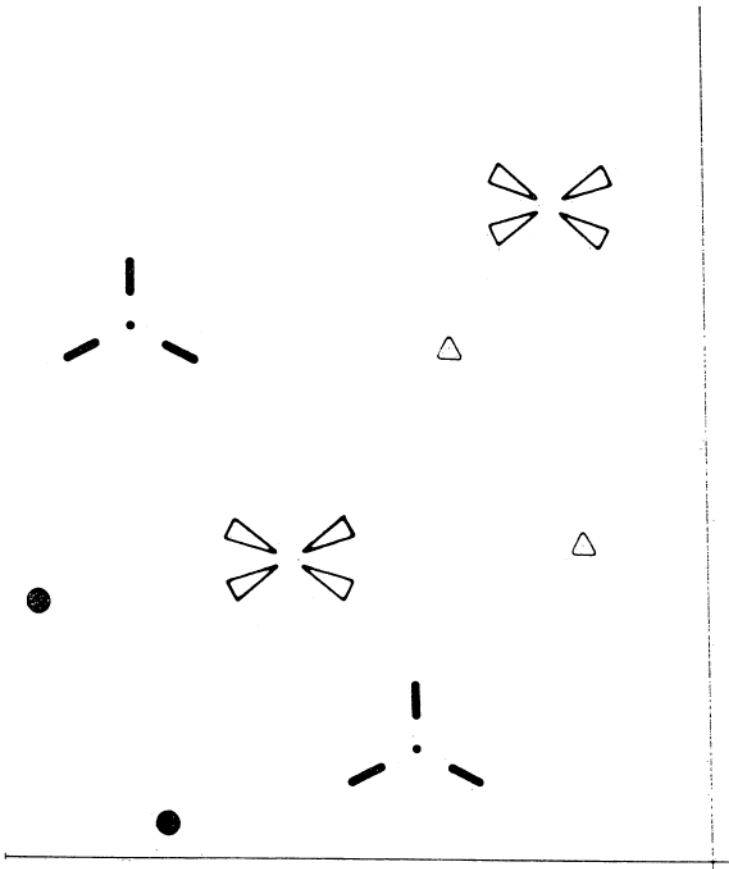
- um estudo pormenorizado dos erros de *leakeage* e *wraparound*, afim de implementar procedimentos para a minimização dos seus efeitos.

- a aplicação dos teoremas de convolução e correlação nas janelas de referência e pesquisa no domínio espectral, tendo como objetivo a comparação com o procedimento proposto por BLAIS [02].

- a continuação dos estudos a respeito da correlação no domínio espectral, a fim de se desenvolver e implementar a correlação refinada neste domínio.

ANEXOS

ANEXO I - IMAGEM IDEALIZADA PARA OS TESTES.....	94
ANEXO II - JANELA DE REFERÊNCIA E PESQUISA DO TESTE 01 NO DOMÍNIO ESPACIAL.....	95
ANEXO III - JANELA DE REFERÊNCIA E PESQUISA DO TESTE 02 NO DOMÍNIO ESPACIAL.....	103
ANEXO IV - RESULTADOS USANDO A METODOLOGIA DESCRITA POR BLAIS.....	111



ANEXO II

JANELAS DE REFERENCIA E PESQUISA NO DOMINIO ESPACIAL

JANELA DE REFERENCIA PTO 01

16x16

183 186 185 181 180 180 181 183 176 178 183 176 185 186 186 190
 180 181 183 180 176 166 166 168 166 173 173 181 180 181 181 186
 183 183 181 180 165 154 148 139 142 154 170 180 176 183 185 186
 178 180 176 170 155 139 126 113 108 121 145 162 170 180 180 180
 180 180 181 163 142 121 105 97 89 92 113 145 163 180 180 186
 180 180 176 160 130 107 95 88 82 78 86 123 151 170 176 180
 183 176 176 158 123 102 91 81 78 75 79 108 145 166 170 181
 180 176 173 162 124 99 89 79 77 77 84 104 136 165 170 180
 180 180 180 166 134 105 91 82 81 81 91 113 142 165 175 178
 178 176 170 171 152 121 102 92 91 93 104 126 148 163 171 180
 176 173 173 173 166 148 120 108 109 113 127 142 158 175 175 180
 176 175 171 173 171 163 151 136 130 137 143 157 163 176 173 176
 176 180 176 173 176 178 170 160 155 157 163 170 173 178 180 183
 176 173 176 173 171 173 170 170 166 166 170 175 173 176 180 176
 180 176 176 175 173 178 176 176 178 175 175 178 176 180 180 176
 176 171 173 173 173 176 175 175 173 173 180 176 176 176 185 178

32x32

JANELA DE PESQUISA PTO 20 16x16

245 245 243 243 245 243 245 243 245 241 243 245 241 243 241 243
 239 239 241 237 237 237 241 241 237 241 237 239 237 237 241 237
 239 241 241 237 239 241 241 237 239 241 237 241 239 237 237 239
 243 241 243 241 237 235 230 230 237 237 239 241 239 241 241 239
 241 245 245 241 233 217 193 178 190 224 241 239 243 243 241 243
 239 239 241 233 209 170 140 124 121 142 202 237 233 241 237 241
 239 241 241 230 180 133 113 107 98 99 139 222 241 230 241 239
 243 241 241 226 158 120 105 94 92 86 99 173 235 235 239 237
 243 245 243 230 152 111 100 95 91 88 98 160 233 237 241 245
 241 237 239 232 176 115 98 98 88 91 108 163 226 235 237 237
 239 237 239 237 211 149 109 100 100 103 137 193 232 237 237 241
 241 241 241 237 233 206 155 136 136 151 186 217 235 241 237 237
 241 241 241 243 237 230 215 190 190 204 218 233 237 243 241 241
 235 239 233 237 237 237 233 226 222 230 232 232 237 237 235 237
 241 237 237 237 237 237 235 235 235 233 237 237 235 241 237 233
 237 237 237 237 235 237 237 235 232 237 237 235 237 235 241 237

JANELA DE REFERENCIA PTO 08 16x16

251 251 251 249 249 251 249 251 249 251 251 251 251 251 251 251
 245 247 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245
 245 247 245 247 245 245 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245
 251 251 249 249 249 245 233 222 237 245 251 249 249 251 249 251
 249 251 251 249 241 195 143 136 142 193 241 253 249 251 249 251
 245 245 245 243 200 134 121 103 100 113 186 245 247 245 245 245
 245 245 245 237 160 121 108 98 93 94 131 230 249 247 245 245
 249 251 249 230 148 119 103 98 93 91 115 215 253 251 249 249

249 251 249 237 151 121 105 99 93 93 121 224 253 251 249 251
245 247 245 241 188 126 117 99 97 103 154 233 249 245 245 245
245 245 245 245 230 166 134 120 120 151 220 249 245 245 245 245
249 249 249 249 247 235 202 190 204 233 249 251 249 251 249 249
249 251 249 249 249 249 247 245 249 249 249 249 249 251 249 251
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 251 249 249

JANELA DE PESQUISA PTO 07 16x16

249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249
249 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 249
245 245 245 245 243 243 237 243 241 243 243 245 245 245 245
245 245 245 243 241 233 222 226 230 237 243 245 245 245 245
249 249 249 245 230 204 170 163 178 204 232 243 245 249 249 249
249 249 247 243 200 151 128 117 113 142 199 237 249 249 249 249
243 245 243 230 157 130 113 103 97 98 148 222 241 245 243 245
245 245 243 222 140 119 104 98 95 88 124 204 241 245 245 245
245 247 247 224 142 117 103 95 95 88 119 192 237 249 249 249
249 249 245 230 155 123 108 100 98 100 142 207 243 249 249 249
243 243 243 237 204 143 121 115 108 127 173 222 243 245 243 245
245 245 243 243 230 197 160 145 160 186 218 237 245 245 245 245
249 247 247 245 241 233 211 207 209 220 235 245 249 249 249 249
249 249 249 249 245 245 241 239 241 243 249 249 247 249 249 249
245 245 243 245 243 243 241 241 241 245 243 243 245 243 243 245
245 245 245 245 243 243 243 245 245 245 245 245 245 245 245

JANELA DE REFERENCIA PTO 18 16x16

243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241 243 243 243 243
245 245 245 243 241 237 241 241 241 241 245 245 243 247 245 247
245 245 245 245 241 237 233 230 237 243 245 245 245 249 247 247
243 243 241 237 226 217 183 176 193 217 233 241 241 243 241 241
241 241 237 235 195 145 130 119 121 162 207 233 243 241 243 243
243 245 239 211 151 121 108 99 95 111 160 215 237 247 245 247
243 245 237 190 130 113 98 91 88 93 139 200 233 245 245 245
241 241 233 181 126 111 97 88 86 89 130 192 230 243 241 241
241 241 233 183 133 112 98 91 86 93 139 204 233 243 241 243
241 245 235 204 163 121 105 95 93 119 171 215 233 243 245 243
245 243 239 228 199 162 139 131 146 176 215 233 243 245 245 245
241 241 237 233 226 206 197 186 204 215 228 241 237 241 241 241
241 243 241 241 235 235 228 226 232 237 241 237 241 243 241 241
243 243 241 245 241 237 241 237 241 241 241 243 243 245 245 243
245 243 245 243 245 243 241 241 245 241 243 245 243 245 245 245
241 241 237 237 241 237 239 241 241 241 241 239 239 241 241 241

JANLEA DE PESQUISA PTO 13 16x16

237 237 237 235 237 237 235 237 237 237 235 237 235 237 237 237
239 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 239 239 237 239
237 237 241 239 239 237 235 237 233 237 239 239 241 241 239 241
241 241 241 241 237 230 211 206 215 222 237 241 241 241 241 241
237 237 237 237 218 183 146 136 142 180 213 233 241 237 237 241
239 237 237 230 180 133 120 109 103 116 170 224 235 241 241 241
241 241 237 211 148 124 105 98 95 97 124 193 233 241 241 243
243 243 237 200 136 119 102 98 92 91 113 186 235 241 245 245

241 241 235 204 139 120 103 98 93 91 113 186 232 237 241 241
241 241 237 222 163 126 111 100 94 98 143 211 237 241 241 241
243 245 241 233 199 151 128 116 112 134 188 230 243 245 245 245
245 245 241 243 230 207 180 170 180 211 233 243 243 245 245 245
241 241 241 239 237 233 224 226 230 233 241 241 241 243 243 243
241 241 241 243 243 241 241 241 241 241 243 241 243 243 243
245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245 247
245 245 245 247 245 245 245 247 245 247 245 249 247 245 247 249

JANELA DE REEFERENCIA PTO 16 16x16

215 213 211 211 211 211 215 207 209 211 211 213 211 209 211 211
207 206 207 207 211 204 204 204 207 211 200 207 211 211 207 207
215 213 209 204 202 197 183 183 190 197 207 209 211 211 211 207
207 207 204 197 180 151 131 133 148 171 190 207 204 204 211 207
204 207 204 183 139 103 98 89 104 133 168 197 211 204 207 209
209 204 193 148 102 87 81 79 79 95 139 183 207 199 204 206
211 211 178 124 93 86 80 78 77 84 119 180 200 200 207 211
206 204 176 120 93 86 81 79 76 77 109 173 200 197 204 204
207 204 171 127 100 88 81 79 76 79 120 186 199 200 207 204
200 200 186 148 112 98 86 84 77 92 149 193 197 200 200 207
209 209 193 173 146 115 103 95 104 145 190 197 200 204 204 209
207 207 202 193 176 152 142 142 166 190 197 200 200 200 200 202
207 209 207 204 200 193 190 197 199 202 204 209 204 204 204 207
207 206 204 204 200 204 204 197 204 200 200 204 202 200 204 204
207 204 207 207 204 202 207 207 200 204 207 207 207 200 202 204
204 204 204 204 204 204 204 202 207 197 204 207 204 204 204 204

JANELA DE PESQUISA PTO 05 16x16

204 211 207 204 207 206 204 206 204 204 207 207 211 209 211 211
207 204 204 200 204 204 200 200 199 199 204 207 207 207 211 209
207 204 204 207 200 200 204 190 186 188 199 209 204 207 215 211
204 200 202 204 197 186 171 160 166 170 176 195 202 202 211 209
204 202 204 199 190 157 137 134 136 148 166 185 202 207 211 207
199 195 199 193 163 130 113 105 105 119 145 168 190 204 204 207
200 200 200 183 139 112 100 92 97 100 123 162 190 200 207 209
200 197 197 166 124 103 93 86 87 89 113 157 188 195 200 206
200 200 193 157 121 104 93 86 84 88 120 166 192 204 204 209
197 202 193 157 128 113 100 94 91 100 142 175 193 200 204 207
200 199 193 166 145 124 112 107 108 130 170 193 202 204 207 209
199 197 192 178 163 148 136 133 142 162 183 193 200 206 202 207
200 200 197 190 178 166 163 163 173 188 200 204 204 211 207 209
200 197 197 193 190 183 180 186 192 195 199 200 204 204 206 204
197 199 199 204 199 199 200 195 199 200 200 207 207 213 207 209
193 200 200 193 200 204 200 200 200 200 204 204 204 204 204 211

JANELA REFERENCIA PTO 01 32x32

183 188 186 190 183 188 192 186 185 188 190 192 190 188 190 193 193 193 190 192 193 193 193 193 197 193 193 193 193 199 195 190 19
183 181 180 183 185 183 183 190 186 186 188 185 185 186 192 190 188 188 193 190 190 192 192 192 190 190 190 190 193 197 193 193 19
185 186 183 188 183 185 190 190 185 186 183 186 190 188 190 190 190 190 190 192 195 193 193 190 193 195 192 193 193 193 197 193 19
183 183 183 183 183 185 185 183 183 186 185 185 188 185 186 186 186 190 183 193 186 186 192 190 190 193 190 190 192 190 193 190 19
186 183 183 185 185 183 186 183 190 186 185 188 186 186 188 190 190 190 186 183 192 190 192 186 186 190 197 193 193 193 195 197 19
180 183 180 180 185 181 180 183 183 183 186 186 183 183 183 185 183 188 186 186 186 186 183 188 186 188 190 190 190 193 190 19
186 183 186 181 183 183 183 181 186 180 185 186 183 186 185 185 185 185 188 186 188 188 186 186 186 193 193 193 193 190 192 193
176 180 178 186 181 181 183 183 178 183 183 180 183 180 183 183 180 183 183 186 190 181 190 185 185 190 186 188 190 190 190

176 181 183 180 183 183 180 183 186 185 181 180 180 181 183 176 178 183 176 185 186 186 190 190 186 190 192 188 186 190 193 193
181 178 176 185 180 180 183 180 181 183 180 176 166 166 168 166 173 173 181 180 181 181 186 183 186 185 185 185 188 192 186 190
183 183 183 180 181 185 180 183 183 181 180 165 154 148 139 142 154 170 180 176 183 185 186 183 190 186 190 188 190 190 186 193
176 180 176 173 181 181 176 178 180 176 170 155 139 126 113 108 121 145 162 170 180 180 180 183 180 183 190 185 183 190 193 190
183 178 180 180 181 180 181 180 180 181 163 142 121 105 97 89 92 113 145 163 180 180 186 183 183 183 188 186 188 193 190 190
173 176 176 180 183 180 173 180 180 176 160 130 107 95 88 82 78 86 123 151 170 176 180 183 183 186 186 186 186 186 190
181 180 180 178 180 180 181 183 176 176 158 123 102 91 81 78 75 79 108 145 166 170 181 180 185 186 185 186 186 185 188 188
173 176 176 171 180 176 173 180 176 173 162 124 99 89 79 77 77 84 104 136 165 170 180 180 178 183 183 180 186 185 183 186
176 183 173 181 178 176 180 180 180 180 166 134 105 91 82 81 81 91 113 142 165 175 178 180 180 180 186 183 186 186 186 190
170 176 173 173 176 176 173 178 176 170 171 152 121 102 92 91 93 104 126 148 163 171 180 181 183 183 183 183 181 183 188 183
180 173 176 173 180 176 180 176 173 173 173 166 148 120 108 109 113 127 142 158 175 175 180 183 181 178 186 180 183 186 183 190
176 171 171 178 173 171 173 176 175 171 173 171 163 151 136 130 137 143 157 163 176 173 176 183 181 176 183 185 183 186 183 181
176 176 175 176 178 178 175 176 180 176 173 176 178 170 160 155 157 163 170 173 178 180 183 185 185 185 178 180 186 186 186 183
175 175 173 170 175 176 173 176 173 176 173 171 173 170 170 166 166 170 175 173 176 180 176 176 180 180 183 181 183 181 183 188
176 176 173 176 176 180 173 180 176 176 175 173 178 176 176 178 175 175 178 176 180 180 176 183 176 183 183 185 185 181 186 188
173 173 173 175 176 173 173 176 171 173 173 173 176 175 175 173 173 180 176 176 176 185 178 183 180 180 180 180 176 183 185
173 176 173 173 176 176 171 173 180 176 175 176 176 176 180 176 180 180 180 180 181 176 183 180 183 180 186 183 185 186 183 186
171 178 173 173 176 176 171 170 176 176 173 176 176 176 180 176 176 176 178 176 178 176 180 180 183 180 180 180 183 186
176 173 176 176 176 173 176 176 180 173 175 176 176 180 176 176 181 181 180 180 183 180 180 180 180 180 185 180 183 181 186
173 176 170 180 171 173 176 173 173 176 173 175 176 176 176 176 176 176 178 176 180 176 180 180 180 180 180 180 181 183 185 183 180
176 173 171 175 176 176 175 175 176 178 178 173 176 176 176 180 180 180 183 180 180 176 183 180 180 180 180 180 180 186 180 186 183
170 176 171 173 173 171 176 173 180 173 173 180 175 175 180 178 176 180 176 176 178 180 178 176 181 180 180 183 183 183 183 181
176 176 176 173 176 176 176 173 176 176 176 176 176 181 180 173 176 178 176 180 180 176 180 183 181 183 180 183 180 180 188 181
173 173 173 170 176 173 171 173 180 175 175 178 176 176 176 175 178 178 178 176 180 180 176 178 180 178 180 180 181 183 181 180 183

JANELA PESQUISA PTO 20 32x32

245 245 247 245 245 247 245 243 247 245 243 243 243 245 243 245 243 245 245 243 243 245 245 243 243 245 239 243 241 243 243 243 243
241 241 241 241 241 241 243 241 241 241 241 237 241 241 241 241 237 241 241 241 241 243 241 241 241 241 237 237 241 239 237 237 241
241 243 243 241 243 243 241 241 241 241 241 243 241 241 241 241 243 241 241 241 243 241 245 241 241 241 241 241 241 241 241 241
245 243 243 245 243 243 245 243 245 243 239 243 241 243 241 243 241 243 241 245 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241
247 245 245 245 245 245 245 249 243 245 243 245 245 243 243 243 245 245 241 241 241 243 243 243 243 241 243 241 241 245 243 239
241 241 241 241 241 241 241 239 239 241 241 241 237 241 241 237 241 237 239 239 237 239 241 237 235 239 237 237 235 241 241 237 239
243 243 243 243 241 241 241 243 243 239 241 241 241 241 241 243 241 239 241 241 239 241 241 239 241 237 235 239 237 237 235 241 241 237 239
243 245 243 241 245 241 243 243 243 245 241 241 243 241 241 243 243 243 241 241 243 241 241 241 241 241 241 241 239 239 239 241 239 241
245 245 249 245 245 245 245 245 245 245 243 243 245 243 245 243 245 241 243 245 241 243 245 241 243 241 243 241 243 241 241 241 243
241 241 241 241 241 241 239 241 239 239 241 237 237 237 241 241 237 241 237 239 237 237 241 237 237 241 237 237 237 239 237 235 237 237 235
241 243 243 241 241 241 241 241 239 241 241 237 239 241 241 237 239 241 237 241 239 237 237 241 239 237 237 237 241 239 237 237 241 241
243 245 243 245 245 239 245 243 243 241 243 241 237 235 230 230 237 237 239 241 239 241 241 239 241 241 241 241 241 243 237 243 241 243
245 247 245 245 245 245 245 245 241 245 245 241 233 217 193 178 190 224 241 239 243 243 241 243 241 241 241 241 243 237 243 241 243
241 241 241 241 241 239 239 241 239 239 241 233 209 170 140 124 121 142 202 237 233 241 237 241 237 237 233 237 237 237 237 237 237 237
241 241 241 241 241 241 243 239 241 241 230 180 133 113 107 98 99 139 222 241 230 241 239 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237
243 241 241 243 241 245 243 243 243 241 241 226 158 120 105 94 92 86 99 173 235 235 239 237 241 237 235 237 241 237 235 237 241 235 239 243
245 243 245 245 241 243 245 245 243 245 243 230 152 111 100 95 91 88 98 160 233 237 241 245 237 241 237 239 241 241 241 241 241
241 237 241 239 237 243 237 237 241 237 239 232 176 115 98 98 88 91 108 163 226 235 237 237 237 233 232 237 237 237 237 237 237 239
241 241 241 239 241 241 241 241 239 237 239 237 211 149 109 100 100 103 137 193 232 237 237 241 235 237 237 237 237 237 239 237 237
241 241 241 241 241 245 241 243 241 241 241 237 233 206 155 136 136 151 186 217 235 241 237 237 237 237 237 237 235 241 237 237 241
243 243 243 243 241 243 243 243 241 241 241 243 237 230 215 190 190 204 218 233 237 243 241 241 239 237 241 237 241 241 235 243
241 237 239 239 237 241 237 241 235 239 233 237 237 233 226 222 230 232 232 237 237 235 237 237 235 230 237 237 237 233 233
241 237 239 239 241 241 237 237 241 237 237 237 237 235 235 235 233 237 237 235 241 237 233 237 237 237 237 237 237 237 237 237
243 237 239 243 237 239 243 241 237 237 237 237 235 237 237 235 232 237 237 235 237 235 241 237 235 233 237 235 241 237 235 237
243 243 241 243 243 241 241 241 241 241 241 237 241 237 241 241 237 241 237 237 239 241 239 239 241 237 237 241 241 237 241 241
237 239 237 241 237 235 237 237 237 235 235 233 237 235 235 233 235 235 237 233 233 237 235 237 233 233 235 235 237 233 235 237
239 237 237 241 237 237 239 239 233 239 235 235 237 237 233 237 237 237 237 237 237 235 241 235 237 235 237 235 235 237 235 237
239 239 237 241 241 239 241 237 241 237 235 237 235 237 235 237 235 230 233 237 237 239 241 237 239 235 237 237 237 235 237 235
241 243 241 239 243 241 237 243 239 237 239 237 241 239 237 235 233 237 237 237 239 237 241 237 241 237 237 235 241 241 241 241
237 237 237 235 235 237 237 237 233 241 237 233 235 237 232 232 232 232 233 233 233 235 237 233 237 233 233 235 237 233 237 235
239 237 237 237 237 237 237 239 235 237 237 235 233 241 235 233 235 233 235 237 235 237 233 237 235 237 233 237 237 235 237 237
239 237 237 239 237 241 237 241 237 239 239 241 237 239 235 237 237 237 237 237 237 237 233 237 235 233 235 237 237 235 235 235 235

[illegible][illegible]

249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 247 247 245 241 233 211 207 209 220 235 245 249 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 249
249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 245 245 241 239 241 243 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249
245 245 245 245 243 245 245 243 245 245 243 245 243 243 241 241 241 245 243 243 245 243 243 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245
245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 243 243 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245
249 247 247 249 249 249 249 249 249 247 249 247 249 245 249 247 247 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249
249
245 245 243 245 243 243 245 245 243 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 243 245 243 245 243 245 245 243 245 245 243 245 245 243
245 245 243 245 243 245 245 245 243 245 245 245 243 245 243 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 243 245
245 249 247 249 247 247 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 247 249
249 249 247 249
243 245 243 245 245 243 243 245 243 245 243 243 243 245 243 243 243 245 243 243 243 243 245 245 245 243 243 243 243 243 243 243 243
243 243 243 245 245 243 243 245 243 243 245 243 245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245 245 245

JANELA DE REFERENCIA PTO 18 32x32

245 247 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 249 245 247 247 245 247 247 245 245 247 245 245 245
247 247 247 245 245 245 245 245 247 247 245 247 245 247 249 245 249 249 249 245 245 249 249 247 247 249 249 245 249 247 247 249
241 243 243 243 239 241 243 241 243 243 241 243 241 241 241 241 243 243 243 241 243 243 243 243 243 241 243 241 243 241 241
243 243 241 243 241 243 243 241 243 243 243 243 243 241 243 243 243 243 243 243 245 243 243 243 243 243 245 243 243 243 245 243 243
245 249 247 245 245 245 245 245 245 245 245 245 247 243 249 245 245 245 245 249 247 245 247 247 245 245 249 245 247 247 245 247 245
245 247 243 249 245 247 245 245 249 247 245 245 245 245 245 245 245 245 247 249 247 249 247 245 247 249 247 247 247 247 249 245
243 241 243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241 241 241 241 241 241 243 243 243 241 243 241 243 243 243 241 243 243 243 243 243
243 241 243 243 241 243 241 241 243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 241 243
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 241 237 241 241 241 241 241 245 245 243 247 245 247 245 247 245 245 247 245 245 247
245 249 245 245 245 249 249 245 245 245 245 245 241 237 233 230 237 243 245 245 245 249 247 247 245 249 249 245 249 245 247 249
241 243 241 243 241 241 241 241 243 243 241 237 226 217 183 176 193 217 233 241 241 243 241 241 243 243 241 241 243 241 241 243
241 243 241 243 243 243 243 241 241 241 237 235 195 145 130 119 121 162 207 233 243 241 243 243 241 243 241 243 241 243 243 243
245 245 245 245 243 245 243 245 243 245 239 211 151 121 108 99 95 111 160 215 237 247 245 247 243 245 247 245 245 247 243 247
245 249 243 245 247 245 245 245 243 245 237 190 130 113 98 91 88 93 139 200 233 245 245 245 245 247 245 247 245 249 243 245
241 241 241 241 241 243 241 241 241 241 233 181 126 111 97 88 86 89 130 192 230 243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241
241 241 243 243 241 243 241 243 241 241 233 183 133 112 98 91 86 93 139 204 233 243 241 243 241 241 243 241 243 241 239 241
243 243 245 243 245 245 243 245 241 245 235 204 163 121 105 95 93 119 171 215 233 243 245 243 243 245 245 245 243 243 245 243
245 245 245 245 243 243 247 245 245 243 239 228 199 162 139 131 146 176 215 233 243 245 245 245 245 245 245 247 245 245 243 245
237 241 241 241 239 241 241 241 241 241 237 233 226 206 197 186 204 215 228 241 237 241 241 241 241 241 241 241 241 241 243 237 241
241 241 241 241 241 241 243 241 241 243 241 241 235 235 228 226 232 237 241 237 241 243 241 241 243 243 241 241 241 243 241 241
243 243 243 243 243 245 243 243 243 243 241 245 241 237 241 237 241 241 241 243 243 245 245 243 243 245 241 245 245 243 245 245
243 245 245 243 243 247 245 243 245 243 245 243 245 243 241 241 245 241 243 245 243 245 245 245 245 245 243 245 245 245 245 245
237 241 241 241 237 241 237 239 241 241 237 237 241 237 239 241 241 241 241 239 239 241 241 241 241 239 239 241 243 241 241 241
241 241 243 241 241 243 239 241 241 241 241 241 239 243 239 241 241 241 239 237 243 241 241 241 243 241 243 241 241 241 241
241 241 243 243 243 243 241 243 241 241 245 241 245 241 241 243 243 245 245 243 243 243 243 245 243 243 245 241 243 243 245
243 243 245 245 241 243 245 243 243 245 243 243 245 245 241 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 245 243 245 245 245 245 245
239 241 239 241 239 237 239 237 239 239 241 239 241 239 241 241 241 237 241 241 241 241 241 241 237 241 241 237 241 241 239 241 241
239 241 241 241 241 241 239 241 241 241 241 241 241 243 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 243
243 241 243 245 241 241 241 241 243 243 241 243 241 243 243 243 243 241 243 243 245 243 245 243 243 245 243 243 245 243 243
243 245 243 243 243 241 243 245 243 245 245 241 243 245 247 243 245 243 243 245 243 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245 243 245
241 241 239 239 239 241 237 239 239 239 237 241 241 239 241 237 241 241 241 241 241 241 239 241 241 241 241 241 241 241 237 241 241
239 241 241 241 241 241 239 237 241 241 237 241 243 239 241 241 241 243 241 241 241 239 241 241 241 243 239 243 241 241 241 241

JANELA DE PESQUISA PTO 13 32x32

233 235 233 232 233 233 233 233 233 233 235 235 233 232 233 233 233 233 235 233 233 233 232 235 233 235 233 237 235 235 235 237
237 233 237 237 235 233 233 237 233 233 233 235 235 233 237 233 235 233 235 235 233 235 237 235 235 235 235 235 233 237 235 237
233 237 237 235 237 237 233 235 237 237 237 235 237 237 235 237 237 237 233 235 235 237 237 235 237 237 233 241 237 235 237 241
237 237 237 237 237 239 237 237 237 235 237 241 237 237 237 237 237 239 237 237 237 237 237 237 237 239 239 237 241 239 241 241
235 237 235 235 235 235 235 235 235 235 233 237 235 233 235 235 233 235 235 235 235 235 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237
233 237 235 237 237 237 235 237 237 235 235 237 237 235 237 237 237 237 235 237 237 235 235 237 237 237 237 239 237 237 237 237
237 237 237 241 241 237 237 237 237 233 237 237 239 235 237 237 237 237 237 237 239 237 239 241 237 241 237 241 241 241 237 243
237 237 241 239 239 241 241 241 241 241 237 241 239 237 241 241 237 237 241 241 241 239 237 241 241 241 241 243 241 241 241

204	200	200	204	204	204	204	200	204	207	207	202	209	204	204	207	209	211	206	209	209	206	209	211	215	211	215	215	215	215	215	215
200	202	204	200	202	207	202	209	204	204	204	209	207	207	215	207	209	211	211	215	207	217	215	211	215	217	215	218	218	218	215	220
202	200	200	202	200	204	200	200	204	211	207	204	209	204	207	209	204	207	209	211	209	209	211	211	209	213	211	209	215	215	211	218
200	200	206	204	204	200	207	206	204	211	213	209	209	207	209	207	207	211	211	207	211	209	211	213	215	218	215	215	215	218	218	218
199	207	200	199	202	200	202	206	197	204	209	200	207	207	207	207	204	207	207	209	209	211	207	209	211	215	209	215	218	207	213	218
200	204	204	202	204	199	213	204	207	209	207	204	213	209	207	207	207	209	211	211	213	213	215	211	213	217	215	215	217	215	218	215
200	202	200	200	202	200	204	197	207	204	204	204	200	204	206	204	204	204	207	206	207	207	209	215	215	209	215	215	215	211	215	215
204	200	204	204	204	200	204	204	204	211	207	204	207	206	204	206	204	204	207	207	211	209	211	211	209	218	211	215	222	211	215	215
204	199	199	200	200	200	202	200	207	204	204	200	204	204	200	200	199	199	204	207	207	207	211	209	207	209	215	213	211	213	215	213
200	204	200	200	207	200	200	207	207	204	204	207	200	200	204	190	186	188	199	209	204	207	215	211	207	217	211	218	215	213	215	215
197	197	202	200	200	204	200	200	204	200	202	204	197	186	171	160	166	170	176	195	202	202	211	209	207	207	215	211	211	209	213	215
193	200	200	202	204	197	207	197	204	202	204	199	190	157	137	134	136	148	166	185	202	207	211	207	211	209	209	215	215	215	213	215
195	197	200	197	200	200	204	197	199	195	199	193	163	130	113	105	105	119	145	168	190	204	204	207	207	211	209	209	209	211	211	211
197	197	200	197	200	197	204	200	200	200	200	183	139	112	100	92	97	100	123	162	190	200	207	209	207	209	215	211	215	209	213	215
199	193	197	199	197	199	200	197	200	197	197	166	124	103	93	86	87	89	113	157	188	195	200	206	209	209	211	207	211	215	213	211
195	197	193	200	204	197	200	197	200	200	193	157	121	104	93	86	84	88	120	166	192	204	204	209	211							

ANEXO III

JANELAS DE REFERENCIA E PESQUISA DO TESTE 02 NO DOMINIO ESPACIAL

JANELA DE REFERENCIA PTO 01 16x16

165 154 148 139 142 154 170 180 176 183 185 186 183 190 186 190
 155 139 126 113 108 121 145 162 170 180 180 180 183 180 183 190
 142 121 105 97 89 92 113 145 163 180 180 186 183 183 183 188
 130 107 95 88 82 78 86 123 151 170 176 180 183 183 186 186
 123 102 91 81 78 75 79 108 145 166 170 181 180 185 186 185
 124 99 89 79 77 77 84 104 136 165 170 180 180 178 183 183
 134 105 91 82 81 81 91 113 142 165 175 178 180 180 180 186
 152 121 102 92 91 93 104 126 148 163 171 180 181 183 183 183
 166 148 120 108 109 113 127 142 158 175 175 180 183 181 178 186
 171 163 151 136 130 137 143 157 163 176 173 176 183 181 176 183
 176 178 170 160 155 157 163 170 173 178 180 183 185 185 185 178
 171 173 170 170 166 166 170 175 173 176 180 176 176 180 180 183
 173 178 176 176 178 175 175 178 176 180 180 176 183 176 183 183
 173 176 175 175 173 173 180 176 176 176 185 178 183 180 180 180
 176 176 176 180 176 180 180 180 181 176 183 180 183 180 186
 176 176 176 180 176 176 176 178 176 178 176 180 180 183 183 180

JANELA DE PESQUISA PTO 20 16x16

241 243 241 241 243 243 243 241 241 243 241 241 241 241 239
 243 245 243 245 243 245 241 243 245 241 243 241 243 241 241
 237 237 237 241 241 237 241 237 239 237 237 241 237 237 239
 237 239 241 241 237 239 241 237 241 239 237 237 239 237 241
 241 237 235 230 230 237 237 239 241 239 241 241 239 241 241
 241 233 217 193 178 190 224 241 239 243 243 241 243 241 241
 233 209 170 140 124 121 142 202 237 233 241 237 241 237 237
 230 180 133 113 107 98 99 139 222 241 230 241 239 237 237
 226 158 120 105 94 92 86 99 173 235 235 239 237 241 237 235
 230 152 111 100 95 91 88 98 160 233 237 241 245 237 241 237
 232 176 115 98 98 88 91 108 163 226 235 237 237 237 233 232
 237 211 149 109 100 100 103 137 193 232 237 237 241 235 237 237
 237 233 206 155 136 136 151 186 217 235 241 237 237 237 237 237
 243 237 230 215 190 190 204 218 233 237 243 241 241 239 237 241
 237 237 237 233 226 222 230 232 232 237 237 235 237 237 235 230
 237 237 237 235 235 235 233 237 237 235 241 237 233 237 237 237

JANELA DE REFERENCIA PTO 08 16x16

241 195 143 136 142 193 241 253 249 251 249 251 249 251 251 251
 200 134 121 103 100 113 186 245 247 245 245 245 245 245 245
 160 121 108 98 93 94 131 230 249 247 245 245 245 245 245
 148 119 103 98 93 91 115 215 253 251 249 249 249 251 249 249
 151 121 105 99 93 93 121 224 253 251 249 251 249 251 249 249
 188 126 117 99 97 103 154 233 249 245 245 245 245 247 245 245
 230 166 134 120 120 151 220 249 245 245 245 245 245 245 245
 247 235 202 190 204 233 249 251 249 251 249 249 249 251 249 249
 249 249 247 245 249 249 249 249 249 251 249 251 249 249 249
 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245

249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 251 249 249 249 249 249 249
249 249 249 249 249 251 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
249 249 249 249 249 249 249 249 249 251 249 249 249 249 249 249

JANEAL DE PESQUISA PTO 07 16x16

249 249 249 249 249 249 247 243 200 151 128 117 113 142 199 237
245 245 243 245 243 245 243 230 157 130 113 103 97 98 148 222
245 243 243 245 245 245 243 222 140 119 104 98 95 88 124 204
249 247 249 249 245 247 247 224 142 117 103 95 95 88 119 192
249 249 249 249 249 249 245 230 155 123 108 100 98 100 142 207
243 245 243 245 243 243 243 237 204 143 121 115 108 127 173 222
245 245 245 245 245 245 243 243 230 197 160 145 160 186 218 237
249 249 249 249 249 247 247 245 241 233 211 207 209 220 235 245
249 249 249 249 249 249 249 249 245 245 241 239 241 243 249 249
243 245 245 243 245 245 243 245 243 243 241 241 241 245 243 243
245 245 245 245 245 245 245 245 243 243 243 245 245 245 245 245
249 249 249 249 249 247 249 247 249 245 249 247 247 249 249 249
249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249
243 243 245 245 243 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 245
243 245 245 245 243 245 245 245 243 245 243 245 243 245 245 245
247 247 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 247 249

JANELA DE REFERENCIA PTO 18 16x16

245 241 237 233 230 237 243 245 245 245 249 247 247 245 249 249
237 226 217 183 176 193 217 233 241 241 243 241 241 243 243 241
235 195 145 130 119 121 162 207 233 243 241 243 243 241 243 241
211 151 121 108 99 95 111 160 215 237 247 245 247 243 245 247
190 130 113 98 91 88 93 139 200 233 245 245 245 245 247 245
181 126 111 97 88 86 89 130 192 230 243 241 241 243 241 241
183 133 112 98 91 86 93 139 204 233 243 241 243 241 241 243
204 163 121 105 95 93 119 171 215 233 243 245 243 243 245 245
228 199 162 139 131 146 176 215 233 243 245 245 245 245 245 245
233 226 206 197 186 204 215 228 241 237 241 241 241 241 241 241
241 235 235 228 226 232 237 241 237 241 243 241 241 243 243 241
245 241 237 241 237 241 241 241 243 243 245 245 243 243 245 241
243 245 243 241 241 245 241 243 245 243 245 245 245 245 243 245
237 241 237 239 241 241 241 241 239 239 241 241 241 239 239 241
241 241 239 243 239 241 241 241 239 237 243 241 241 241 243 241
241 245 241 241 243 243 245 245 243 243 243 243 243 245 243 243

JANELA DE PESQUISA PTO 13 16x16

235 237 237 237 235 237 237 235 237 237 237 235 237 235 237 237
237 239 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 239 239 237
241 237 237 241 239 239 237 235 237 233 237 239 239 241 241 239
239 241 241 241 241 237 230 211 206 215 222 237 241 241 241 241
237 237 237 237 237 218 183 146 136 142 180 213 233 241 237 237
241 239 237 237 230 180 133 120 109 103 116 170 224 235 241 241
241 241 241 237 211 148 124 105 98 95 97 124 193 233 241 241
243 243 243 237 200 136 119 102 98 92 91 113 186 235 241 245
241 241 241 235 204 139 120 103 98 93 91 113 186 232 237 241
241 241 241 237 222 163 126 111 100 94 98 143 211 237 241 241
245 243 245 241 233 199 151 128 116 112 134 188 230 243 245 245

245 245 245 241 243 230 207 180 170 180 211 233 243 243 245 243
241 241 241 241 239 237 233 224 226 230 233 241 241 241 243 243
243 241 241 241 243 243 241 241 241 241 241 243 241 243 243
245 245 245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245
247 245 245 245 247 245 245 245 247 245 247 245 249 247 245 247

JANELA DE REFERENCIA PTO 16 16x16

204 197 207 204 204 204 200 204 206 204 204 204 207 206 207 207
204 204 204 211 207 204 207 206 204 206 204 204 207 207 211 209
202 200 207 204 204 200 204 204 200 200 199 199 204 207 207 207
200 207 207 204 204 207 200 200 204 190 186 188 199 209 204 207
200 200 204 200 202 204 197 186 171 160 166 170 176 195 202 202
207 197 204 202 204 199 190 157 137 134 136 148 166 185 202 207
204 197 199 195 199 193 163 130 113 105 105 119 145 168 190 204
204 200 200 200 200 183 139 112 100 92 97 100 123 162 190 200
200 197 200 197 197 166 124 103 93 86 87 89 113 157 188 195
200 197 200 200 193 157 121 104 93 86 84 88 120 166 192 204
195 200 197 202 193 157 128 113 100 94 91 100 142 175 193 200
200 200 200 199 193 166 145 124 112 107 108 130 170 193 202 204
199 193 199 197 192 178 163 148 136 133 142 162 183 193 200 206
200 200 200 200 197 190 178 166 163 163 173 188 200 204 204 211
195 193 200 197 197 193 190 183 180 186 192 195 199 200 204 204
200 199 197 199 199 204 199 199 200 195 199 200 200 207 207 213

JANELA DE PESQUISA PTO 05 16x16

215 209 211 215 215 215 213 211 211 211 211 215 207 209 211 211
207 207 206 207 211 207 206 207 207 211 204 204 204 207 211 200
209 209 211 207 207 215 213 209 204 202 197 183 183 190 197 207
204 207 207 204 204 207 207 204 197 180 151 131 133 148 171 190
207 211 209 211 211 204 207 204 183 139 103 98 89 104 133 168
207 204 206 204 206 209 204 193 148 102 87 81 79 79 95 139
207 207 207 209 207 211 211 178 124 93 86 80 78 77 84 119
204 204 204 204 206 206 204 176 120 93 86 81 79 76 77 109
202 209 207 204 200 207 204 171 127 100 88 81 79 76 79 120
200 200 200 206 200 200 200 186 148 112 98 86 84 77 92 149
209 204 199 200 207 209 209 193 173 146 115 103 95 104 145 190
200 204 207 204 204 207 207 202 193 176 152 142 142 156 190 197
207 211 204 211 206 207 209 207 204 200 193 190 197 199 202 204
207 200 200 204 206 207 206 204 204 200 204 204 197 204 200 200
204 207 211 202 204 207 204 207 207 204 202 207 207 200 204 207
204 204 207 204 200 204 204 204 204 204 204 202 207 197 204

JANELA DE REFERENCIA PTO 01 32x32

183 183 183 176 183 183 183 183 183 185 185 183 183 186 185 185 188 185 186 186 186 190 183 193 186 186 192 190 190 193 190 190 192
183 185 183 183 186 183 183 185 185 183 186 183 190 186 185 188 186 186 188 190 190 190 186 183 192 190 192 186 186 190 197 193 193
183 181 181 183 180 183 180 180 185 181 180 183 183 183 186 186 183 183 183 185 183 188 186 186 186 186 183 188 186 188 190 190
181 185 180 180 186 183 186 181 183 183 183 181 186 180 185 186 183 186 185 185 185 185 188 186 188 188 186 186 186 193 193 193 193
178 178 180 178 176 180 178 186 181 181 183 183 178 183 183 180 183 180 183 183 180 183 183 183 186 190 181 190 185 185 190 186 188
181 176 183 181 176 181 183 180 183 183 180 183 186 185 181 180 180 181 183 176 178 183 176 185 186 186 190 190 186 190 192 188 188
178 176 180 176 181 178 176 185 180 180 183 180 181 183 180 176 166 166 168 166 173 173 181 180 181 181 186 183 186 185 185 185 188
181 180 181 180 183 183 183 180 181 185 180 183 183 181 180 165 154 148 139 142 154 170 180 176 183 185 186 183 190 186 190 188 190
176 176 180 176 176 180 176 173 181 181 176 178 180 176 170 155 139 126 113 108 121 145 162 170 180 180 180 183 180 183 190 185 183
180 176 176 180 183 178 180 180 181 180 181 180 180 181 163 142 121 105 97 89 92 113 145 163 180 180 186 183 183 183 188 186
176 176 180 180 173 176 176 180 183 180 173 180 180 176 160 130 107 95 88 82 78 86 123 131 170 176 180 183 183 186 186 186

178 180 180 176 181 180 180 178 180 180 181 183 176 176 158 123 102 91 81 78 75 79 108 145 166 170 181 180 185 186 185 186
173 176 176 176 173 176 176 171 180 176 173 180 176 173 162 124 99 89 79 77 77 84 104 136 165 170 180 180 178 183 183 180
173 173 180 171 176 183 173 181 178 176 180 180 180 180 166 134 105 91 82 81 81 91 113 142 165 175 178 180 180 180 186 183
176 171 173 180 170 176 173 173 176 176 173 178 176 170 171 152 121 102 92 91 93 104 126 148 163 171 180 181 183 183 183 183
180 176 173 176 180 173 176 173 180 176 180 176 173 173 173 166 148 120 108 109 113 127 142 158 175 175 180 183 181 178 186 180
170 176 171 171 176 171 171 178 173 171 173 176 175 171 173 171 163 151 136 130 137 143 157 163 176 173 176 183 181 176 183 185
176 173 173 176 176 176 175 176 178 178 175 176 180 176 173 176 178 170 160 155 157 163 170 173 178 180 183 185 185 185 178 180
173 173 173 173 175 175 173 170 175 176 173 176 173 176 173 171 173 170 170 166 166 170 175 173 176 180 176 176 180 180 183 181
180 173 176 173 176 176 173 176 176 180 173 180 176 176 175 173 178 176 176 178 175 175 178 176 180 180 176 183 176 183 183 185
173 176 171 173 173 173 173 175 176 173 173 176 171 173 173 173 176 175 175 173 173 180 176 176 176 185 178 183 180 180 180 180
173 176 176 170 173 176 173 173 176 176 171 173 180 176 175 176 176 176 180 176 180 180 180 180 181 176 183 180 183 180 186 183
176 171 175 173 171 178 173 173 176 176 171 170 176 176 173 176 176 176 180 176 176 176 178 176 178 176 180 180 183 183 180 178
173 171 173 173 176 173 176 176 176 173 176 176 180 173 175 176 176 180 176 176 181 181 180 180 183 180 180 180 180 185 180
173 173 175 171 173 176 170 180 171 173 176 173 173 176 173 175 176 176 176 176 176 176 176 178 176 180 176 180 180 180 180 181
176 173 176 180 176 173 171 175 176 176 175 175 176 178 178 173 176 176 176 180 180 183 180 180 176 183 180 180 183 180 186
180 171 171 176 170 176 171 173 173 171 176 173 180 173 173 180 175 175 180 178 176 180 176 176 178 180 176 176 178 180 180 183
176 176 173 171 176 176 176 173 176 176 176 173 176 176 176 176 176 181 180 173 176 178 176 180 180 176 180 183 181 180 183
176 171 173 176 173 173 173 170 176 173 171 173 180 175 175 178 176 176 176 175 178 178 178 176 180 180 176 178 180 178 180 181
175 173 175 176 173 176 173 176 176 173 180 180 178 178 175 180 181 176 178 183 180 180 185 176 183 180 180 180 183 186 180
173 173 173 171 173 173 175 173 173 176 178 173 173 176 175 176 173 178 176 180 180 180 176 180 176 180 178 176 180 183 183
176 176 176 173 176 176 173 175 180 173 176 176 176 176 176 176 176 176 180 180 176 180 176 185 175 183 180 183 181 183 186

JANELA DE PESQUISA PTO 20 32x32

245 247 245 245 247 245 247 243 243 247 245 245 243 243 243 243 243 245 243 243 247 241 243 243 241 243 245 243 243 243 243
241 243 241 241 239 241 241 241 239 239 241 239 237 241 239 239 237 241 241 241 237 237 237 239 241 237 237 241 237 237
243 241 243 243 241 243 241 241 243 241 241 243 237 241 241 241 241 237 241 241 241 241 241 239 239 241 237 241 237 241
245 243 247 245 243 243 243 245 245 241 243 243 241 243 241 241 241 243 241 243 241 243 241 241 241 241 243 241 239 239
245 247 245 243 247 245 243 243 243 245 243 245 243 245 245 243 243 245 239 243 241 243 243 243 243 241 245 241 239
241 241 243 241 241 241 241 237 241 241 241 241 237 241 239 241 241 237 237 241 239 237 237 241 239 237 237 241 237 241
243 243 241 241 241 241 241 243 241 241 241 241 241 243 241 241 241 243 239 237 237 241 241 241 237 241 241 241 241
243 243 245 243 245 243 239 243 241 243 241 243 241 243 241 245 241 241 241 241 241 241 241 241 243 241 241 243 241 241
245 245 245 249 243 245 243 245 245 243 243 245 245 241 241 241 243 243 243 241 243 241 241 241 241 241 241 243 241 241
241 241 239 239 241 241 241 237 241 241 237 241 237 239 239 237 239 241 237 235 239 237 237 235 241 241 237 239 237 237 237
241 241 241 243 243 239 241 241 241 241 243 241 239 241 241 239 241 241 239 241 237 237 237 235 241 241 237 239 237 237 237
245 241 243 243 243 245 241 241 243 241 241 243 243 241 241 243 241 241 241 241 239 239 239 241 239 241 241 241 241 237
245 245 245 245 245 245 243 243 245 243 245 243 245 241 243 245 241 243 241 243 241 243 241 241 241 243 241 243 241 241
241 241 239 241 239 239 241 237 237 241 241 237 241 237 239 237 237 241 237 237 237 239 237 235 237 237 235 237 241 233 237
241 241 241 241 239 241 241 237 239 241 241 237 239 241 237 241 239 237 237 239 237 237 241 239 237 237 241 241 237 239 237
245 239 245 243 241 243 241 237 235 230 230 237 237 239 241 239 241 241 239 241 241 241 239 237 241 241 241 241 241 241
245 245 245 245 241 245 245 241 233 217 193 178 190 224 241 239 243 243 241 243 241 241 241 243 237 243 241 243 241 241 243 241
241 239 239 241 239 239 241 233 209 170 140 124 121 142 202 237 233 241 237 241 237 237 233 237 237 239 237 237 233 237 233
241 241 241 243 239 241 241 230 180 133 113 107 98 99 139 222 241 230 241 239 237 237 237 237 241 237 241 241 237 241 241 241
241 245 243 243 243 241 241 226 158 120 105 94 92 86 99 173 235 235 239 237 241 237 235 237 241 235 239 243 237 241 241 237
241 243 245 245 243 245 243 230 152 111 100 95 91 88 98 160 233 237 241 245 237 241 237 239 241 241 241 241 241 241 241 243
237 243 237 237 241 237 239 232 176 115 98 98 88 91 108 163 226 235 237 237 237 233 232 237 237 237 237 239 235 237 237 237
241 241 241 241 239 237 239 237 211 149 109 100 100 103 137 193 232 237 237 241 235 237 237 237 237 239 237 237 241 237 237 241
241 245 241 243 241 241 241 237 233 206 155 136 136 151 186 217 235 241 237 237 237 237 237 235 241 237 237 241 241 243 237 237
241 243 243 243 241 241 241 243 237 230 215 190 190 204 218 233 237 243 241 241 239 237 241 237 241 241 235 243 241 237 243 241
237 241 237 241 235 239 233 237 237 237 233 226 222 230 232 232 237 237 235 237 237 235 237 237 235 230 237 237 233 233 237 237
241 241 237 237 241 237 237 237 237 237 235 235 235 233 237 237 235 241 237 233 237 237 237 237 237 237 237 237 237 239 239
237 239 243 241 237 237 237 237 235 237 237 235 232 237 237 235 237 235 241 237 235 233 237 235 241 237 235 237 237 239 241
243 241 241 241 241 241 241 237 241 237 241 241 237 241 237 237 239 241 239 239 241 237 237 241 241 237 241 241 237 237 241
237 235 237 237 237 235 235 233 237 235 233 235 235 237 233 233 237 235 237 233 233 235 235 237 233 235 235 235 237 233 235 237 233 235
237 237 239 239 233 239 235 235 237 237 233 237 237 237 233 237 237 235 241 235 237 235 237 235 235 237 235 235 237 235 237 235 233 237
241 239 241 237 241 237 235 237 235 237 235 237 235 230 233 237 237 239 241 237 239 235 237 237 237 235 237 235 237 235 233 241

JANELA DE REFERENCIA PTO 08 32x32

245 245 245 245 243 245 245 243 245 245 243 245 243 243 241 241 241 245 243 243 245 243 243 245 243 245 245 245 245 243 245
245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 243 243 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245
249 247 247 249 249 249 249 249 249 247 249 247 249 245 249 247 247 249 249 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249
249
245 245 243 245 243 243 245 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 245 243 245 243 245 245 243 245 245 243 245 245 243
245 245 243 245 243 245 245 245 243 245 245 245 243 245 243 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 243 245
245 249 247 249 247 247 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 247 249
249 249 247 249
243 245 243 245 245 243 243 245 243 245 243 243 243 245 243 243 243 243 245 245 245 243 243 243 243 243 243 243 243

JANELA DE REFERENCIA PTO 18 32x32

245 249 249 249 245 247 245 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 245 247 245 245 247 247 245 247 249 249 249 247 249 249
241 243 241 243 243 243 241 245 241 243 243 243 243 243 243 243 243 243 241 241 243 241 241 241 243 245 241 243 243 245 243
243 243 243 243 241 243 243 243 243 243 243 243 243 245 243 245 243 243 243 243 241 241 243 243 243 243 243 243 243 243 243
247 245 245 249 245 245 247 247 247 245 247 249 249 249 245 247 245 247 247 247 245 245 245 247 245 249 245 249 245 245 247 249
247 247 249 245 247 249 247 249 247 249 249 245 249 249 249 249 247 249 247 245 245 249 249 245 245 247 249 249 245 249
243 241 241 243 241 243 243 241 245 243 243 243 243 243 243 245 243 241 243 243 241 243 243 241 243 241 245 241 241 241 243
243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 245 243 243 243 243 243 245 241 243 243 243 243 243 243 243 243 245
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 249 245 247 247 245 247 247 245 245 247 245 245 245 243 245 245 247 245 247
245 245 247 247 245 247 245 247 249 245 249 249 249 245 245 249 249 247 247 249 249 245 249 247 247 249 245 249 245 247 247 247
243 241 243 243 241 243 241 241 241 241 243 243 243 241 243 243 243 243 243 241 243 241 243 241 241 243 241 241 243 241 241
243 241 243 243 243 243 243 241 243 243 243 243 243 243 245 243 243 243 243 245 243 243 243 245 243 243 243 243 243 243 243
245 245 245 245 245 247 243 249 245 245 245 245 245 249 247 245 247 247 245 245 249 245 247 247 245 247 245 245 245 245 245 245
245 245 249 247 245 245 245 245 245 245 245 245 247 249 247 249 247 245 247 249 247 247 247 247 249 245 249 247 245 243 245 247
241 241 241 243 241 241 241 241 241 241 241 243 243 243 241 243 241 243 243 243 241 243 243 243 243 243 241 243 241 241 241 241
241 241 243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 241 243 241 243 241 241 241 243
245 245 245 245 245 243 241 237 241 241 241 241 245 245 243 247 245 247 245 247 245 245 247 245 245 247 243 247 245 245 245 245
249 245 245 245 245 245 241 237 233 230 237 243 245 245 245 249 247 247 245 249 249 245 249 245 247 249 245 247 247 245 245 245
241 241 243 243 241 237 226 217 183 176 193 217 233 241 241 243 241 241 243 243 241 241 243 241 241 243 241 241 243 241 243 243 241
243 241 241 241 237 235 195 145 130 119 121 162 207 233 243 241 243 243 241 243 241 243 241 243 243 243 241 243 243 243 243 243 243
243 245 243 245 239 211 151 121 108 99 95 111 160 215 237 247 245 247 243 245 247 245 245 247 243 247 243 247 245 245 245 245
245 245 243 245 237 190 130 113 98 91 88 93 139 200 233 245 245 245 245 247 245 247 245 249 243 245 247 245 245 245 245 249
241 241 241 241 233 181 126 111 97 88 86 89 130 192 230 243 241 241 243 241 241 241 243 241 241 241 241 241 241 243 243 241 243
241 243 241 241 233 183 133 112 98 91 86 93 139 204 233 243 241 243 241 241 243 241 243 241 239 241 243 241 243 241 241 243
243 245 241 245 235 204 163 121 105 95 93 119 171 215 233 243 245 243 243 245 245 245 243 243 245 243 243 245 243 245 245 245
247 245 245 243 239 228 199 162 139 131 146 176 215 233 243 245 245 245 245 245 245 247 245 245 243 245 245 249 245 247 245 247
241 241 241 241 237 233 226 206 197 186 204 215 228 241 237 241 241 241 241 241 241 241 241 241 243 237 241 241 241 241 241 241
243 241 241 243 241 241 235 235 228 226 232 237 241 237 241 243 241 241 243 243 241 241 241 243 241 241 241 243 241 243 241 241
243 243 243 243 241 245 241 237 241 237 241 241 241 243 243 245 245 243 243 245 241 245 245 243 245 245 245 245 243 245 245 243
245 243 245 243 245 243 245 243 241 241 245 241 243 245 243 245 245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
237 239 241 241 237 237 241 237 239 241 241 241 241 239 239 241 241 241 239 239 241 243 241 239 241 241 237 243 241 239 241 241
239 241 241 241 241 241 241 239 243 239 241 241 241 239 237 243 241 241 241 243 241 243 241 241 241 241 241 241 241 241 243 241 241
241 243 241 241 245 241 245 241 241 243 243 245 245 243 243 243 243 243 245 243 243 245 241 243 243 245 245 243 243 245 243 245

JANELA DE PESQUISA PTO 13 32x32

237 241 241 241 239 241 237 237 241 239 239 241 241 241 241 241 237 241 239 237 241 241 237 237 237 241 241 241 239 237 241 241
237 239 233 237 237 235 235 237 237 237 237 237 235 237 237 237 235 237 237 235 237 237 235 237 237 235 237 237 237 237 237
233 237 237 237 237 237 235 241 237 237 237 239 237 237 239 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 237 239 239 237 239 239
237 243 241 241 237 241 241 241 241 239 239 241 241 241 237 237 241 239 239 237 235 237 233 237 239 239 241 241 239 241 241 241
241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 243 241 239 241 241 241 241 237 230 211 206 215 222 237 241 241 241 241 241 243 243
237 237 237 237 237 241 237 237 239 237 237 239 237 237 237 237 237 218 183 146 136 142 180 213 233 241 237 237 241 241 239
239 237 241 239 239 241 241 241 239 239 241 241 237 241 239 237 237 230 180 133 120 109 103 116 170 224 235 241 241 241 241 241
241 243 241 243 241 243 241 243 241 241 241 241 241 241 241 241 241 237 211 148 124 105 98 95 97 124 193 233 241 241 243 241 243
243 243 241 243 241 243 245 243 243 243 241 243 243 243 243 243 237 200 136 119 102 98 92 91 113 186 235 241 245 245 245 243
241 241 241 241 237 239 241 241 241 241 239 241 239 241 241 241 235 204 139 120 103 98 93 91 113 186 232 237 241 241 241 241
241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 237 222 163 126 111 100 94 98 143 211 237 241 241 241 241 241

243 243 243 243 243 243 241 243 243 243 245 243 243 245 243 245 241 233 199 151 128 116 112 134 188 230 243 245 245 245 243 245
243 245 243 243 243 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 245 241 243 230 207 180 170 180 211 233 243 243 245 245 245 245 245
241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 243 239 241 241 241 241 239 237 233 224 226 230 233 241 241 241 243 243 243 241 243
241 243 241 241 243 241 241 243 241 243 241 243 243 243 241 241 241 243 243 241 241 241 241 241 241 243 241 243 243 243 243 243
245 245 245 245 245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 245 245 247 245 245 247 245 247
245 247 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245 245 247 245 245 247 245 247 245 249 247 245 247 249 247 247
243 243 243 241 243 243 243 243 241 243 243 241 241 245 243 241 243 243 241 243 243 245 243 243 243 243 243 245 243 243 245 243
243 243 243 243 243 245 243 243 243 243 243 243 243 243 243 243 245 245 243 243 245 243 243 245 243 243 245 243 243 245 245 245 243
245 245 247 245 245 249 245 245 245 247 247 245 247 247 245 247 245 247 245 249 247 247 247 247 247 245 249 249 249 247 249 247 247
249 247 249 249 247 247 247 249 245 249 247 245 247 249 247 249 249 249 249 247 247 249 249 247 247 249 249 249 249 249 249 249 249
245 245 243 243 243 245 243 245 243 245 243 243 243 245 243 243 245 245 243 245 243 245 245 243 243 245 245 245 245 245 243 245
245 245 245 243 245 245 245 245 245 243 243 245 245 245 245 245 243 245 243 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
249 249 247 249 249 249 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 247 249 249 247 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249 249
249
245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 243 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245 245
245
249
249
245
249
249
245
245
249
249 249

JANELA DE REFERENCIA PTO 16 32x32

202 204 199 199 200 200 200 202 200 207 204 204 200 204 204 200 200 199 199 204 207 207 207 211 209 207 209 215 213 211 213 215
195 200 204 200 200 207 200 200 207 207 204 204 207 200 200 204 190 186 188 199 209 204 207 215 211 207 217 211 218 215 213 215
200 197 197 202 200 200 204 200 200 204 200 202 204 197 186 171 160 166 170 176 195 202 202 211 209 207 207 215 211 211 209 213
200 193 200 200 202 204 197 207 197 204 202 204 199 190 157 137 134 136 148 166 185 202 207 211 207 211 209 209 215 215 215 213
197 195 197 200 197 200 200 204 197 199 195 199 193 163 130 113 105 105 119 145 168 190 204 204 207 207 211 209 209 209 211 211
199 197 197 200 197 200 197 204 200 200 200 200 183 139 112 100 92 97 100 123 162 190 200 207 209 207 209 215 211 215 209 213
197 199 193 197 199 197 199 200 197 200 197 197 166 124 103 93 86 87 89 113 157 188 195 200 206 209 209 211 207 211 215 213
197 195 197 193 200 204 197 200 197 200 200 193 157 121 104 93 86 84 88 120 166 192 204 204 209 211 213 211 213 213 211 215
193 200 195 197 199 199 193 195 200 197 202 193 157 128 113 100 94 91 100 142 175 193 200 204 207 207 207 211 211 211 207 213
197 200 199 197 200 200 197 200 200 200 199 193 166 145 124 112 107 108 130 170 193 202 204 207 209 209 209 207 213 211 209 211
195 193 195 195 199 195 195 199 193 199 197 192 178 163 148 136 133 142 162 183 193 200 206 202 207 207 213 206 207 209 207 207
200 199 200 200 197 197 199 200 200 200 200 197 190 178 166 163 163 173 188 200 204 204 211 207 209 211 207 213 209 211 215 209
193 197 193 193 195 197 197 195 193 200 197 197 193 190 183 180 186 192 195 199 200 204 204 206 204 211 207 204 213 211 209 209
197 200 197 197 197 200 200 200 199 197 199 199 204 199 199 200 195 199 200 200 207 207 213 207 209 213 215 211 211 215 211 215
200 195 197 193 195 192 199 197 199 193 200 200 193 200 204 200 200 200 200 204 204 204 204 211 207 207 207 206 207 211 209
197 193 193 199 193 197 197 199 199 200 199 200 195 204 204 199 202 204 200 207 206 204 207 207 209 206 209 207 209 207 211 207
195 193 186 197 192 193 200 195 195 193 195 199 200 199 200 204 199 204 204 199 204 200 204 207 204 206 207 206 204 209 206 204
195 195 197 195 193 200 197 199 197 199 197 193 200 204 204 200 204 207 206 207 204 204 207 211 209 207 209 209 207 209 204 206
193 195 197 193 188 197 193 197 190 197 199 197 197 204 199 202 204 202 202 204 204 204 204 206 207 200 211 204 204 204 207 207
199 199 192 195 195 197 190 197 200 197 200 197 204 200 204 204 204 206 202 207 204 206 204 209 209 204 204 207 207 213 204 207
193 195 190 190 193 193 190 193 190 193 200 199 197 195 200 204 197 200 200 202 204 200 202 204 207 204 204 207 206 206 204 209
193 190 190 195 195 195 197 193 193 195 200 200 197 199 207 204 200 207 206 204 204 207 207 206 211 204 211 207 207 209 211 207
190 193 190 190 190 190 192 193 193 193 193 200 197 199 200 197 202 206 199 200 204 202 207 211 202 202 207 204 202 204 207 204
190 193 193 190 197 193 193 199 193 200 193 199 200 200 202 202 206 200 200 204 202 209 207 207 207 207 207 207 207 204 206 211
193 190 192 190 190 193 193 193 193 197 193 200 200 197 204 204 200 204 200 204 207 200 204 204 200 202 204 207 202 207 204 204
195 190 192 195 193 190 193 197 200 195 197 195 197 200 202 206 204 204 204 204 204 204 200 207 207 204 209 204 206 213 207 206
190 192 193 190 192 186 190 195 193 193 193 197 197 199 199 200 200 200 202 202 200 204 206 204 204 204 200 207 204 207 204 200
190 193 193 190 193 193 195 197 197 197 202 197 200 200 202 204 204 204 204 204 204 204 207 207 204 206 209 204 209 207 204 207 207
190 190 190 190 195 188 190 195 193 199 193 197 199 200 197 199 200 200 200 200 200 204 200 204 204 202 204 200 204 200 202
193 192 193 193 193 193 197 193 197 200 197 195 200 200 197 200 199 200 204 204 204 204 204 204 204 211 207 207 204 206 209
193 186 190 193 190 190 193 197 193 192 197 199 197 195 199 197 200 204 197 200 204 204 204 200 202 200 207 200 200 202 200
190 193 192 197 197 193 193 199 193 200 193 199 199 200 199 204 200 202 204 202 204 204 206 207 204 204 207 204 200 207 207 200

JANELA DE PESQUISA PTO 05 32x32

215 215 218 218 217 213 215 217 218 215 209 217 215 213 215 217 209 213 215 209 215 215 209 218 218 215 217 213 215 207 217 218
218 215 218 222 222 215 218 218 213 218 215 218 222 218 218 215 211 215 218 215 215 218 217 217 215 217 215 218 215 215 215 218
209 215 217 215 215 215 215 211 211 207 215 213 213 211 215 213 211 215 213 211 215 213 213 211 213 215 215 218 211 209 215 211
218 215 215 217 218 215 215 218 213 211 215 215 217 211 209 215 215 215 218 215 209 215 218 211 215 215 217 215 213 209 211 215
215 207 207 213 215 211 217 215 207 213 207 213 211 209 211 207 211 215 207 207 217 215 209 211 211 213 207 215 211 204 209 213
207 218 217 215 218 213 215 213 215 215 211 215 215 207 215 206 213 215 213 213 211 215 215 211 211 215 215 211 217 213 211 211
213 213 213 215 213 209 207 209 215 215 211 209 211 207 211 215 207 209 209 211 213 207 211 213 207 213 213 213 207 211 207 207
215 215 215 213 211 215 213 215 215 211 211 211 217 207 211 217 207 211 217 215 213 211 211 211 213 215 215 209 211 211 207 209
215 207 215 211 204 211 209 209 211 207 211 211 207 209 207 209 209 211 206 206 211 211 207 207 211 209 211 209 202 207 211 207
215 215 215 213 211 211 211 211 215 207 209 211 211 213 211 209 211 211 215 211 209 211 215 211 213 211 213 215 209 211 204 215
207 211 207 206 207 207 211 204 204 204 207 211 200 207 211 211 207 207 206 207 207 209 215 209 207 207 211 209 206 206 204 206
207 207 215 213 209 204 202 197 183 183 190 197 207 209 211 211 211 207 211 211 207 211 207 209 213 211 211 211 207 213 209 207 211 209 213
204 204 207 207 204 197 180 151 131 133 148 171 190 207 204 204 211 207 207 207 207 209 206 200 202 206 211 209 207 207 207 206
211 211 204 207 204 183 139 103 98 89 104 133 168 197 211 204 207 209 209 209 207 207 207 207 211 207 209 211 207 206 209 211
204 206 209 204 193 148 102 87 81 79 79 95 139 183 207 199 204 206 204 204 204 204 206 209 207 207 207 206 204 204 207 204
209 207 211 211 178 124 93 86 80 78 77 84 119 180 200 200 207 211 209 209 209 207 207 209 211 207 207 209 207 207 211 207
204 206 206 204 176 120 93 86 81 79 76 77 109 173 200 197 204 204 204 204 204 204 207 204 209 204 207 207 207 207 202 204
204 200 207 204 171 127 100 88 81 79 76 79 120 186 199 200 207 204 211 207 206 207 207 207 207 209 209 211 206 204 204 207
206 200 200 200 186 148 112 98 86 84 77 92 149 193 197 200 200 207 207 204 200 202 204 207 204 199 207 204 206 204 204 197
200 207 209 209 193 173 146 115 103 95 104 145 190 197 200 204 204 209 207 204 206 204 209 207 204 207 211 209 204 207 207 204
204 204 207 207 202 193 176 152 142 142 166 190 197 200 200 200 200 202 204 204 207 204 204 206 207 200 204 207 202 204 206 204
211 206 207 209 207 204 200 193 190 197 199 202 204 209 204 204 204 207 204 207 204 204 207 204 209 207 204 204 204 211 207
204 206 207 206 204 204 200 204 204 197 204 200 200 204 202 200 204 204 207 207 204 204 207 200 204 207 202 207 204 200 207
202 204 207 204 207 207 204 202 207 207 207 207 200 202 204 207 207 206 207 206 206 206 200 207 204 207 204 204 207
204 200 204 204 204 204 204 204 204 202 207 197 204 207 204 204 204 204 207 202 207 207 200 206 207 204 204 206 197 206 204 209
207 204 211 207 206 207 206 207 206 207 204 207 207 207 206 204 207 211 204 207 207 200 207 207 200 202 211 206 207 207 206 204
204 206 207 206 207 204 204 204 204 204 204 207 204 197 204 202 207 207 200 200 207 204 204 200 199 204 204 204 202 200 204 207
204 207 209 207 207 204 207 207 204 207 204 204 204 204 207 204 200 207 206 204 206 200 207 204 200 204 204 204 204 207 209
204 204 202 204 207 204 204 206 204 202 204 204 200 204 204 200 204 204 204 204 200 204 204 200 204 200 202 200 204 204 204 204
207 209 204 206 207 207 209 204 207 204 204 204 206 206 207 207 204 207 209 207 204 204 204 202 209 202 204 204 207 202 211 209
202 207 204 204 204 206 204 204 204 200 206 206 204 206 204 202 204 207 200 204 204 200 204 204 204 204 200 202 206 204 202 204
206 204 207 207 206 209 209 207 207 207 207 207 207 204 204 204 204 202 207 211 207 204 206 204 204 204 204 204 204 207 204 207 211

ANEXO IV

RESULTADO USANDO A METODOLOGIA DESCRITA POR BLAIS COM ADAPTACOES.

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 16x16 PTOS 1,20

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -2.9193580

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 15 COLUNA 12

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 16x16 PTOS 08,07

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -2.9241180

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 11 COLUNA 2

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 16x16 PTOS 18,13

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -3.0287860

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 12 COLUNA 8

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 16x16 PTOS 16,05

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -2.9057290

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 14 COLUNA 7

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 32x32 PTOS 01,20

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -3.0628340

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 20 COLUNA 2

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 32x32 PTOS 08,07

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -3.0175450

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 11 COLUNA 13

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 32x32 PTOS 18,13

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -3.0063510

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 31 COLUNA 11

CORRELACAO ESPECTRAL - Usando a Teoria de Blais Com Adaptacoes

RESULTADO FINAL DA CORRELACAO NO DOMINIO ESPECTRAL

TAMANHO DA JANELA => 32x32 PTOS 16,05

MINIMA DIFERENCA DE FASE = -3.0559740

POSICAO DA MINIMA DIFERENCA DE FASE

LINHA 2 COLUNA 21

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |01| ACKERMANN, F.. High Precision Digital Image Correlation. In.: Proceedings of 39th Photogrammetric Week Stuttgart, pg 231-244. 1983.

- |02| BLAIS, J.A.R. & GIBSON, J.R.. Digital Image Correlations. Lectures Collection of the University of Calgary, Calgary Alberta Canada. 1987.

- |03| BOYCE, W. E. & DIPRIMA, R. C. Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno. Guanabara Dois. 3^a Edição. 1977.

- |04| BRIGHAM, E. O. The Fast Fourier Transform. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

- |05| DÄHLER, J. Problems in Digital Image Acquisition With CCD Camera. ISPRS Intercommission Conference on "Fast Processing of Photogrammetric Data", Interlaken, pag. 1 - 11, June 2-4, 1987.

- |06| DAL POZ, A.P. & GALO, M.. A utilização do Conceito da Geometria Epipolar em Coorelação de Imagens Digitais.

- |07| EHLERS, M.. The Effects of Noise on Digital Correlation Probability. Photogrammetric Engeneering and Remote Sensing. Vol 51. N° 3. March 1985. pp. 357-365.

- |08| FAUST, H. W. Digitization of Photogrammetric Images. 42th Photogrammetric Week Stuttgart, September 14 -19, 1987.

- |09| GALO, M. Problemas na Aquisição de Imagens Com Câmeras Digitais. Seminário apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPr. 1992.

- |10| GALO, M. Calibração e Aplicação de Câmeras Digitais. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPr. 1993.

- |11| GONZALES, R. C. & WINTZ, P. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company. Second Edition. 1987.

- |12| KEATING, T.J.; WOLF, P.R. & SCARPACE, F.L.. An Improved Method of Digital Image Correlation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, N° 8, pg. 993-1002, August, 1975.

- |13| KONECNY, G.. Correlation Techniques and Devices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 47, N° 3, March 1981, pp. 323-333.

- |14| KRATKY, V.. Spectral Analysis of Some Interpolation Methods. In.: Proceedings International Symposium - Commission IV, New Technology for Mapping, Ottawa, Canadá October 2-6, 1978, pg. 186-185.

- |15| MASRY, S.E.. Digital Correlation Principles. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, N° 3, pg. 303-308, March 1974.

- |16| MONTCORI, J.S.. Image Scanner Technology. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, N° 1, January 1980, pg. 49-61.

- |17| PERTL, A.. Digital Image Correlation With The Analitical Plotter Planicomp C 100. In.: International Society Photogrammetry, commission III. Rio de Janeiro, XIV International Congress, 1980. pg. 874-882.

- |18| ROSENHOLM, D.. Empirical Investigation of Otimal Window Size Using the Least Squares Image Matching Method. Photogrammetria (PRS), 42(1987) 113-125. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam - Printed in The Netherlands.

- |19| ROSENHOLM, D.. Accuracy Improvement of Digital Matching for Evaluation of Digital Terrain Models. In.: International Arch. Photogrammetric, Remote Sensing, XXVI (III), Renovaments, pp.573-597.

- |20| STRAUCH, J.C.M. Correlação Aplicado a Fotogrametria Seminário Apresentado ao Curso de Pós-Graduação em em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba 1990.

- |21| SILVA, E. F. & DALMOLIN Q. Domínios de Atuação da Correlação Digital. Universidade Federal do Paraná. 1993.

- |22| TOMMASELLI, A.M.G. & TOZZI, C.L. Um Estudo Prático Sobre Calibração. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. 1991.

- |23| TOMMASELLI, A.M.G. Um Método Recursivo Aplicado Ao Problema de Localização em Visão de Máquina. Tese de doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP. Campinas. 1993.

- |24| TRINDER, J.C.. The Effects of Photogrammetric Noise

on Pointing Precision, Detection, and Recognition.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,
 Vol. 48, N° 10, October 1982, pp. 1563-1575.

- |25| TRINDER, J.C. Precision of Digital Target Location.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,
 Vol. 55, N° 6, June 1989, pp. 883-886.

- |26| TSENG, Y. & SCHENK, T. A Last-Squares Approach to
 Matching Lines With Fourier Descriptors. A
 Collection of papers - Columbus, Ohio. July 1992.

- |27| WALKER, A.S.. Development of a System for
 Stereomodel Heighting Based on Epipolar Scanning.
 Fredericton, 1975, 129pg. Tese, doutorado UNB,
 Canadá.

- |28| WONG, K.W. & HO, W. Close-Range Mapping With a
 Solid State Camera. Photogrammetric Engineering
 and Remote Sensing, Vol. 52, N° 1, January 1986,
 pp. 67-74.

- |29| YANNIRIS, Y.. Improvements to the off-line epipolar
 correlation. Fredericton, 1974, 104 pg. Tese,
 doutorado UNB, Canadá.